



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA**

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM  
AGRONOMIA**

**TESE**

**ECOLOGIA POPULACIONAL, CARACTERÍSTICAS  
ANATÔMICAS E PERFIL METABOLÔMICO DE  
*Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY  
SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

**ALEX DA SILVA BARBOSA**

**2015**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**ECOLOGIA POPULACIONAL, CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E PERFIL  
METABOLÔMICO DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY  
SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

**ALEX DA SILVA BARBOSA**

*Sob orientação da Professora:*

**Risellane de Lucena Alcântara Bruno**

*e Coorientação do Professor:*

**Alberício Pereira de Andrade**

Tese submetida como requisito para obtenção  
do grau de **Doutor em Agronomia**  
(**Agricultura Tropical**), no Programa de Pós-  
Graduação em Agronomia.

Areia, PB

Março de 2015

Ficha Catalográfica Elaborada na Seção de Processos Técnicos da  
Biblioteca Setorial do CCA, UFPB, Campus II, Areia – PB.

B238e Barbosa, Alex da Silva.

Ecologia Populacional, Características Anatômicas e Perfil Metabolômico de  
*Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.)  
Zappi (Cactaceae). / Alex da Silva Barbosa. - Areia: UFPB/CCA, 2015.  
237 f. : il.

Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade  
Federal da Paraíba, Areia, 2015.

Bibliografia.

Orientadora: Riselane de Lucena Alcântara Bruno.

Coorientador: Alberício Pereira de Andrade.

1. Cactaceae 2. Cactos - Caatinga 3. Solo 4. Fenologia I. Bruno, Riselane  
de Lucena (Orientadora) II. Título.

UFPB/CCA

CDU: 582.661.56(043.2)

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA  
CENTRO DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CERTIFICADO DE APROVAÇÃO**

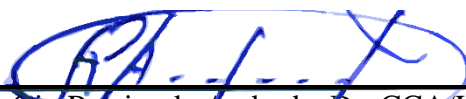
**TÍTULO: ECOLOGIA POPULACIONAL, CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E PERFIL METABOLÔMICO DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

**AUTOR: ALEX DA SILVA BARBOSA**

Aprovado como parte das exigências para obtenção do título de DOUTOR em AGRONOMIA (Agricultura Tropical) pela comissão Examinadora:



Riselane de Lucena Alcântara Bruno, Dra. CCA/UFPB



Alberício Pereira de Andrade, Dr. CCA/UFPB



Everaldo Paulo de Medeiros, Dr. EMBRAPA/Algodão



Maria de Fátima Vanderlei de Souza, Dra. CCS/UFPB

Data da realização: 27/03/2015



Presidente da Comissão Examinadora  
Dra. Riselane de Lucena Alcântara Bruno  
Orientadora

Aos meus pais:

*David Avelino Barbosa e*

*Maria Luís da Silva Barbosa (Dasneves)*

Aos meus avós paternos:

*Miguel Avelino Barbosa e*

*Maria de Lourdes Bezerra*

(Em memória)

Aos meus avós maternos:

*Luís João Francisco e*

*Luzia Caetano da Silva Francisco*

Eu dedico este trabalho.

*O tempo voa! Então devemos voar também com garras de águia, asas de condor e vontade de aço! E que os Imaculados Corações repousem sua proteção e piedade sobre todos nós! Amém!*

## AGRADECIMENTOS

*Ao Pai pela vida, ao Filho pela oportunidade de salvação e ao Espírito pela força e aos sagrados corações de Jesus e Maria pelo amor.*

*Aos meus irmãos: Alessandra da Silva Barbosa, Aline da Silva Barbosa e Alexandre da Silva Barbosa pela partilha.*

*Aos meus sobrinhos: Ana Beatriz, Yarlei David e Yasmin Kissia, meus anjinhos.*

*Ao meu cunhado: José Hélio Taurino pela amizade.*

*Aos meus Tios (as), Primos (as) e Parentes pela amizade.*

*A Universidade Federal da Paraíba, pela oportunidade de cursar o Doutorado em Agronomia (Agricultura Tropical).*

*Ao Prof. Alberício Pereira de Andrade e Profa. Riselane de Lucena Alcântara Bruno pela orientação, direcionamentos sempre pertinentes e por acreditar em minha pessoa.*

*À Profa. Vênia Camelo de Souza e ao Prof. Laésio Pereira Martins pelo apoio no desenvolvimento das atividades de pesquisa.*

*Ao Prof. Mailson Monteiro do Rêgo, a Doutoranda Gláucia Medeiros e Angela Maria pelo apoio e auxílio durante o desenvolvimento de parte do trabalho.*

*À Profa. Maria de Fátima Vanderlei de Souza, ao Prof. Josean Fechine Tavares e ao Dr. Everaldo Paulo de Medeiros (EMBRAPA/Algodão) pelos direcionamentos, sugestões e críticas.*

*A Profa. Marta Sueli Madruga e Gilvando Galdino pelo apoio laboratorial.*

*À Profa. Maria Goretti de Vasconcelos Silva da Universidade Federal do Ceará pelo apoio no desenvolvimento de parte da pesquisa.*

*À Profa. Flávia Carolina Lins da Silva da Universidade Federal Rural de Pernambuco, à Profa. Karina Perreli Randau e a Doutoranda Rafaela Damasceno Sá e ao Laboratório de Farmácia da Universidade Federal de Pernambuco pela orientação e apoio no desenvolvimento de parte pesquisa.*

*Ao Prof. Ian E. Woodrow e Dr. Jason Q. D. Goodger pela orientação na The University of Melbourne (Austrália) durante o período de estágio doutoral.*

*Aos meus orientadores de outrora: Prof. José Humberto Vilar da Silva, Prof. Marcos Barros de Medeiros, Prof. João Neves Martins da Universidade Técnica de Lisboa (Portugal) e Prof. Carlos Belarmino Alves do CONTEP-PB pelos direcionamentos pertinentes.*

*Ao Ministério da Agricultura e ao IBAMA da Paraíba pelo apoio durante o desenvolvimento do trabalho.*

*À Profa. Lúcia Helena Garófalo Chaves pelo apoio no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande.*

*Aos jovens cientistas Robson Luís Silva de Medeiros, Miguel Avelino Barbosa Neto, Tales Emanuel Duarte Santos e Leandro de Araújo pelo apoio perene durante a execução do trabalho.*

*A todos os integrantes do Grupo de Pesquisa Lavoura Xerófila e ECOVAR pela vivência durante a realização do trabalho.*

*Ao Sr. Marizinho, ao Sr. Nemécio e ao Sr. Antenor (Nocha) pela anuência no uso das áreas de caatinga para o desenvolvimento da pesquisa.*

*A minha namorada Fabiana dos Anjos pelas revisões pertinentes.*

*A Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior pela concessão da Bolsa de Estudos através do Programa Ciência sem Fronteiras em 2014.*

*A todos que direta ou indiretamente conspiraram e contribuíram para a realização deste trabalho.*

Muito obrigado!



## BIOGRAFIA

*Alex da Silva Barbosa*



Filho de David Avelino Barbosa e, Maria Luísa da Silva Barbosa, nasceu no dia 31 de dezembro de 1986 na cidade de Guarabira, PB. Viveu sua infância no Sítio Olho d'água de propriedade de seus avós paternos Miguel Avelino Barbosa e Maria de Lourdes Bezerra em Tacima, PB. Em 1993 iniciou seu processo de alfabetização no Grupo Escolar dos Pombos em Tacima, PB, de onde abandonou por motivos de saúde. No ano seguinte sua mãe, Maria Luísa da Silva Barbosa, fundou a Grupo Escolar dos Lins no sítio de seus avós de onde foi alfabetizado e de lá mudou-se para Belém, PB para a casa de seus avós maternos: Luís João Francisco e Luzia Caetano da Silva Francisco, onde prosseguiu seus estudos no Grupo Escolar Municipal Profa. Elvira Silveira da Costa, concluindo a primeira fase do Ensino Fundamental (1998). Em 1999 ingressou na Escola Estadual de Ensino Fundamental e Médio Eng.<sup>a</sup> Márcia Guedes Alcoforado de Carvalho em Belém, PB onde concluiu a segunda fase do Ensino Fundamental (2002). Realizou seus estudos de Ensino Médio e recebeu o grau de Técnico Agrícola (Agropecuária) no Colégio Agrícola "Vidal de Negreiros", CAVN - UFPB, Bananeiras (2006). Defendeu o Relatório de Conclusão de Curso intitulado: NOVO MÉTODO MELHORA O DESEMPENHO DE GALINHAS POEDEIRAS DURANTE A FASE DE MUDA FORÇADA. Graduiu-se em Ciências Agrárias (Licenciatura Plena), pela Universidade Federal da Paraíba, CCHSA - UFPB, Bananeiras (2009), com período sanduíche na Universidade Técnica de Lisboa, ISA - UTL, Portugal (2008). Defendeu o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: CARACTERÍSTICAS FENOTÍPICAS DO TREMOÇO BRANCO DOCE (*Lupinus albus* L.) VAR. MISAK AVALIADAS SOB DIFERENTES DENSIDADES DE PLANTAS. Durante sua graduação participou dos Programas Institucionais de Extensão, Iniciação Científica e à Docência. Pós-Graduado em Ciências Ambientais pelo Centro Integrado de Tecnologia e Pesquisa da Paraíba, CINTEP - PB, Guarabira (2010), com Monografia intitulada: INTERFERÊNCIA DE DIFERENTES INTENSIDADES LUMINOSAS, CONCENTRAÇÕES DE HERBICIDA (TRIAZINE) E DIÓXIDO DE CARBONO (CO<sub>2</sub>) NA ATIVIDADE FOTOSSINTÉTICA DE PLANTAS C<sub>3</sub>. Atuou na Empresa de Assistência Técnica e Extensão Rural da Paraíba, EMATER/PB na Unidade Operativa de Dona Inês, PB por quase três anos (2007-2010). Tornou-se Mestre em Agronomia (Ecologia Vegetal e Meio Ambiente) pela Universidade Federal da Paraíba, CCA - UFPB, Areia (2011), com dissertação defendida: ESTRUTURA DA VEGETAÇÃO E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE CACTACEAE EM ÁREAS DE CAATINGA DO SEMIÁRIDO PARAIBANO. Possui experiência nas áreas de Agricultura Tropical, Horticultura, Ecometabolômica e Extensão Rural. Em 2010 tornou-se Professor concursado do Departamento de Agricultura, Campus III da Universidade Federal da Paraíba. Em 2015 concluiu o Doutorado em Agronomia (Agricultura Tropical) pela mesma universidade com período sanduíche na *The University of Melbourne (UNIMELB, Melbourne, State of Victoria - Australia)*, com título da tese: ECOLOGIA POPULACIONAL, CARACTERÍSTICAS ANATÔMICAS E PERFIL METABOLÔMICO DE *Pilosocereus cattingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE).

BARBOSA, Alex da Silva. Doutorado em Agronomia (Agricultura Tropical). Universidade Federal da Paraíba, Março de 2015. **Ecologia Populacional, Características Anatômicas e Perfil Metabolômico de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (Cactaceae).** 2015. 244f. Orientadora: Riselane de Lucena Alcântara Bruno e Co-Orientador: Alberício Pereira de Andrade.

## RESUMO

As cactáceas constituem um grupo de plantas de ampla distribuição no semiárido paraibano. Os seus espécimes apresentam sensibilidade às perturbações antrópicas devido à baixa taxa de crescimento absoluto, distribuição geográfica restrita e dependência de agentes dispersores, por outro lado configuram-se como importantes recursos genéticos vegetais para a região. Visando contribuir com informações para programas de conservação, uso e anatomia da família, o objetivo do trabalho foi analisar características ecológicas, anatômicas e o perfil metabolômico de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi de áreas de caatinga do Agreste da Paraíba. A avaliação das populações foi realizada por meio de parcelas contíguas em três caatingas localizadas nos municípios de Arara, Areial e Boa Vista-PB. Para o estudo ecológico das populações, foram caracterizados o solo e o clima das áreas de ocorrência da espécie. Em cada área amostral foram amostrados e etiquetados todos os indivíduos medindo-se com auxílio de uma suta o DNB e a altura total dos espécimes. As populações foram descritas pela densidade, frequência e dominância absoluta, área basal e índice de agregação de McGuinness. Com auxílio de GPS *Garmin*<sup>®</sup> cada espécime foi georreferenciado e, por meio do aplicativo *Surfer*<sup>®</sup> foi predito a configuração espacial de cada população. Para a análise anatômica, as seções transversais de raízes, caule e fruto foram obtidas à mão livre, com lâmina de aço, clarificadas com hipoclorito de sódio (50%), coradas com safranina e azul de astra e analisadas sob microscopia óptica. Para o estudo fenológico, utilizou-se o índice de atividade (porcentagem de indivíduos na fenofase), obtido através da contagem do número de estruturas produzidas em cada uma das fenofases observadas por planta. Para a análise metabolômica, foram coletados frutos com diferentes estádios de maturação de espécimes adultos com bom padrão fenotípico e estado fitossanitário. A quantificação dos compostos funcionais foi realizada por meio de espectrofotometria de absorção atômica e a separação por meio de cromatografia líquida de alta eficiência de fase reversa acoplado a um espectro de massa. A identificação dos metabólitos foi realizada *on line* com base no padrão de fragmentação molecular utilizando a base do *SciFinder*. Os solos das três áreas apresentam alta capacidade de troca catiônica e, são eutróficos. As populações apresentam similaridade em termos de distribuição espacial, contudo a antropização das áreas de caatinga afeta estruturalmente as populações de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis*. Os espécimes de Areial apresentam alta formação de cristais de oxalato nas células do tecido cortical da raiz e os distinguem das populações de Arara e Boa Vista, PB. Os padrões fenológicos da população de Boa Vista acompanham os eventos pluviais, térmicos e em menor escala os umídicos. A temperatura possui correlação positiva para todas as fenofases, com significância na fase de botões florais. As betacianinas são os alcaloides de maior expressão no fruto representadas em maior quantidade pela betanina e filocactina. Os espécimes expressam mais betacianinas do que betaxantinas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Caatinga, Facheiro, Solo, Fenologia, Produtos Naturais.

BARBOSA, Alex da Silva. Doctorate in Agronomy (Tropical Agriculture). Universidade Federal da Paraíba, March 2015. **Populational Ecology, Anatomic Characteristics and Metabolomic Profile of *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (Cactaceae)** 2015. 243f. Supervisor: Riselane de Lucena Alcântara Bruno and Co-Supervisor: Alberício Pereira de Andrade.

## ABSTRACT

The cacti are a group of widely distributed plants in semiarid of Paraíba. Your specimens show sensitivity to human disturbance due to low absolute growth rate, restricted range and reliance on dispersal agents, on the other hand appear as important plant genetic resources for the region. Aiming to contribute information to conservation programs, uses and anatomy, the objective of this study was to analyze ecological, anatomical, genetic, and metabolic profile of *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi from savanna areas of the Paraíba Westland. The assessment was carried out in three contiguous plots *caatingas* located in the Towns of Arara, Areal and Boa Vista-PB. For ecological study of populations, the soil and climate of populations occurrence was characterized. In each sampled area it was sampled and tagged all individuals by measuring with the aid of calipers DNB and the total height. The populations were described by the density, frequency and absolute dominance, basal area and McGuinness aggregation index. The prediction of spatial configuration for each population was performed with Garmin® Surfer® applications. The anatomical analysis of the cross sections of roots, stems and fruit were freehand obtained, with common razor blade, clarified with sodium hypochlorite (50%), stained with safranin and astra blue and examined by optic microscopy. For the phenology, the stages were analyzed using the activity index (percentage of individuals in the phenology) and an intensity ratio obtained by counting the number of structures produced in each of the stages observed per plant. For the metabolomics analysis, fruits were with different maturity stages of adult specimens with good phenotypic and plant health. The measurement of functional compounds was performed using a spectrophotometer and separation through high performance liquid chromatography in reversed-phase coupled to a mass spectrum. The identifications of metabolites was made on line based on the molecular fragmentation pattern using SciFinder. The three areas soils have a high cation exchange capacity and are eutrophic. Populations have similarity in terms of spatial distribution, yet the anthropization of *caatinga* areas affects structurally *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* populations. The Areal specimens have high formation of oxalate crystals in the cells of the cortical root tissue and is distinguished from Arara and Boa Vista, PB populations. Phenological patterns of the population of Boa Vista accompanying rainfall events, heat and to a lesser extent the moisty. The temperature has a positive correlation for all phenophases, with significance at the stage of flower buds. The betacyanins are the alkaloids with the highest expression in the fruit represented in greater quantity by betanin and filocactina. The specimens express more betaxantinas than betacyanins.

**KEYWORDS:** *Caatinga*, *Facheiro*, Soil, Phenology, Natural Products.

## LISTAS DE TABELAS, QUADROS E FIGURAS

### CAPÍTULO I: AS CACTÁCEAS E A ADAPTAÇÃO AO CLIMA SEMIÁRIDO

<b>Figura 1.</b> Esquema geral da produção de MS pelos vegetais superiores (IPP, Isopentenil difosfato; DMAPP, Dimetilalil difosfato; NPAAAs, aminoácidos não proteicos; GAP, Gliceraldeído 3-fosfato) (WINK, 2010).....	4 1
<b>Figura 2.</b> Esquema geral da produção de betalaínas e suas ligações para a formação de outros tipos derivados do ácido betalâmico (STRACK et al., 2003).....	4 3
<b>Tabela 1.</b> Ocorrência natural de betaxantinas identificadas em vegetais superiores...	44
<b>Tabela 2.</b> Betacianinas identificadas em cactáceas.....	45

### CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E ATRIBUTOS DE SOLOS EM ÁREAS DE DOMÍNIO DE *Pilosocereus cattingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

<b>Figura 1.</b> Áreas de ocorrência de <i>Pilosocereus cattingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga de Arara, Areial e Boa Vista (respectivamente), Agreste do estado da Paraíba, Brasil.....	60
<b>Figura 2.</b> Localização geográfica das áreas de domínio de <i>Pilosocereus cattingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil.....	60
<b>Figura 3.</b> Procedimentos para a coleta das amostras de solo nas áreas de Arara, Areial e Boa Vista, PB.....	63
<b>Figura 4.</b> Distribuição mensal média da precipitação (a), temperatura (b) e umidade do ar (c), média nos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba, no período de 2004-2014 (As barras verticais representam o desvio padrão da média da precipitação pluvial ao longo dos dez anos). INMET, 2014.....	67

<b>Figura 5.</b> Balanço hídrico climatológico e extrato do balanço hídrico climatológico do município de Arara (a e b), Paraíba, baseado em dados termopluviométricos do período de 2004 à 2014 (As barras verticais representam o desvio padrão da média da precipitação pluvial ao longo dos dez anos; ETp = Evapotranspiração potencial; ETr = Evapotranspiração real). INMET-2014.....	69
<b>Figura 6.</b> Balanço hídrico climatológico e extrato do balanço hídrico climatológico do município de Areial (a e b), Paraíba, baseado em dados termopluviométricos do período de 2004 à 2014 (As barras verticais representam o desvio padrão da média da precipitação pluvial ao longo dos dez anos; ETp = Evapotranspiração potencial; ETr = Evapotranspiração real). INMET-2014.....	70
<b>Figura 7.</b> Balanço hídrico climatológico e extrato do balanço hídrico climatológico do município de Boa Vista (a e b), Paraíba, baseado em dados termopluviométricos do período de 2004 à 2014 (As barras verticais representam o desvio padrão da média da precipitação pluvial ao longo dos dez anos; ETp = Evapotranspiração potencial; ETr = Evapotranspiração real). INMET-2014.....	71
<b>Figura 8.</b> Box-plot do índice de dissimilaridade de Bray-Curtis entre e intra áreas de estudo ( <i>Ranked distance</i> = Distância ranqueada; <i>Between</i> = Entre grupos; <i>Group 1</i> , Grupo 1 Arara – Areial; <i>Group 2</i> , Grupo 2 = Arara - Boa Vista; <i>Group 3</i> , Grupo 3 = Areial – Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo).....	80
<b>Figura 9.</b> Análise de componentes principais referente aos atributos físicos do solo das três áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) - ARA = Arara; AR = Areial; BV = Boa Vista, PB.....	81
<b>Figura 10.</b> Perfis dos solos das áreas nos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba (respectivamente).....	81
<b>Figura 11.</b> Valores médios de areia, silte e argila em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N= 4).....	83
<b>Figura 12.</b> Valores médios da densidade do solo (a) e densidade de partículas (b) em amostras das áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	84
<b>Figura 13.</b> Valores médios da porosidade (a) e água disponível (b) em amostras das áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	84

<b>Figura 14.</b> Valores médios da umidade a 0,33 ATM e 15 ATM de solos em amostras das áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	85
<b>Figura 15.</b> Box-plot do índice de dissimilaridade de Bray-Curtis entre e intra áreas de estudo ( <i>Ranked distance</i> = Distância ranqueada; <i>Between</i> = Entre grupos; <i>Group 1</i> , Grupo 1 Arara – Areial; <i>Group 2</i> , Grupo 2 = Arara - Boa Vista; <i>Group 3</i> , Grupo 3 = Areial – Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo).....	87
<b>Figura 16.</b> Análise de componentes principais referente aos atributos químicos do solo das três áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) - ARA = Arara; AR = Areial; BV = Boa Vista.....	88
<b>Figura 17.</b> Valores médios de cálcio e magnésio em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	89
<b>Figura 18.</b> Valores médios de sódio e potássio em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	90
<b>Figura 19.</b> Valores médios de nitrogênio e enxofre em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	90
<b>Figura 20.</b> Valores médios de hidrogênio e alumínio em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	91
<b>Figura 21.</b> Valor médio de fósforo em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	91
<b>Figura 22.</b> Valores médios de saturação por bases (a) e carbono orgânico (b) em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	94
<b>Figura 23.</b> Valores médios de matéria orgânica (a) e pH (b) em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	93
<b>Figura 24.</b> Valor médio de condutividade elétrica em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4).....	94

<b>Tabela 1.</b> Índice de aridez mensal pelo modelo de Lang, para Arara, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014.....	72
<b>Tabela 2.</b> Índice de aridez mensal pelo modelo de Lang, para Areial, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014.....	73
<b>Tabela 3.</b> Índice de aridez mensal pelo modelo de Lang, para Boa Vista, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014.....	73
<b>Tabela 4.</b> Índice de aridez mensal pelo modelo de Meyer, para Arara, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014.....	74
<b>Tabela 5.</b> Índice de aridez mensal pelo modelo de Meyer, para Areial, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014.....	74
<b>Tabela 6.</b> Índice de aridez mensal pelo modelo de Meyer, para Boa Vista, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014.....	75
<b>Tabela 7.</b> Índice de aridez mensal pelo modelo de Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CCD), para Arara, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014.....	76
<b>Tabela 8.</b> Índice de aridez mensal pelo modelo de Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CCD), para Areial, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014.....	76
<b>Tabela 9.</b> Índice de aridez mensal pelo modelo de Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CCD), para Boa Vista, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014.....	77
<b>Tabela 10.</b> Análise de Variância Multivariada por Permutação (PERMANOVA - <i>Permutational Multivariate Analysis of Variance</i> ) de todos os atributos físicos analisados neste trabalho para as três áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-40cm) .....	78
<b>Tabela 11.</b> Teste entre os níveis do fator áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo) .....	79
<b>Tabela 12.</b> Média da dissimilaridade dentro e entre e intra áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-40cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo) .....	86

<b>Tabela 13.</b> Teste entre os níveis do fator áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-40cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo).....	87
<b>Tabela 14.</b> Média da dissimilaridade dentro e entre e intra áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-40cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo).....	87
<b>Tabela 15.</b> Comparativo da precipitação (mm), umidade (%) e temperatura (°C) de três áreas de caatinga do semiárido Paraibano. Dados de dez anos.....	95

### **CAPÍTULO III: ESTRUTURA POPULACIONAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE) EM ÁREAS DE CAATINGA**

<b>Figura 1.</b> Áreas de domínio de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em Arara, Areial e Boa Vista (respectivamente), Agreste do estado da Paraíba, Brasil.....	110
<b>Figura 2.</b> Localização geográfica das áreas de domínio de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil.....	110
<b>Figura 3.</b> Croqui de distribuição das parcelas nos fragmentos de caatinga estudados - Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba.....	112
<b>Figura 4.</b> Etapas do levantamento populacional de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi nas áreas de caatinga de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba.....	113
<b>Figura 5.</b> Comparativo das populações nas áreas de estudo sobre o total de indivíduos amostrados e o quantitativo de regenerantes e adultos (REG = indivíduos regenerantes; ADU = indivíduos adultos; N = número de indivíduos).....	120
<b>Figura 6.</b> Estrutura hipsométrica (a) e diamétrica (b) da população de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Arara-PB.....	121
<b>Figura 7.</b> Estrutura diamétrica (a) e hipsométrica da população de facheiro [( <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi)] numa caatinga do município de Areial-PB.....	122



<b>Figura 8.</b> Estrutura diamétrica (a) e hipsométrica (b) da população de facheiro [( <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi)] numa caatinga no município de Boa Vista-PB.....	123
<b>Figura 9.</b> Predição do padrão da distribuição espacial em relação a abundância absoluta de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga. (A) Arara, (B) Areial e (C) Boa Vista-PB.....	124
<b>Figura 10.</b> Mapa de isolinhas da estrutura espacial em relação a altura de plantas por parcela entre as populações de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga. (A) Arara, (B) Areial e (C) Boa Vista-PB.....	125
<b>Figura 11.</b> Mapa de isolinhas da estrutura espacial em relação ao diâmetro de plantas por parcela entre as populações de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga. (A) Arara, (B) Areial e (C) Boa Vista-PB.....	126
<b>Tabela 1.</b> Estrutura horizontal de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi nas áreas de caatinga do estado da Paraíba, Brasil.....	119
<b>Tabela 2.</b> Estrutura horizontal de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi nas áreas de caatinga do estado da Paraíba, Brasil.....	121
 <b>CAPÍTULO IV: ANATOMIA DOS ÓRGÃOS VEGETATIVOS E DO FRUTO DE <i>Pilosocereus catingicola</i> (GÜRKE) BYLES &amp; ROWLEY SUBSP. <i>salvadorensis</i> (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)</b>	
<b>Figura 1.</b> Áreas de coleta dos espécimes de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga de Arara, Areial e Boa Vista (respectivamente), Agreste do estado da Paraíba, Brasil.....	141
<b>Figura 2.</b> Representação geográfica dos pontos de coletas dos espécimes de <i>Pilosocereus pachycladus</i> F. Ritter nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil.....	141
<b>Figura 3.</b> Raízes em estrutura secundária de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi (N=5) .....	145

<b>Figura 4.</b> Secções transversais de raízes de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi (N=5).....	145
<b>Figura 5.</b> Teste histoquímico nas secções transversais de raízes de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi (N=5) .....	146
<b>Figura 6.</b> Secções transversais da região cortical do caule de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi (N=5).....	148
<b>Figura 7.</b> Secções transversais da região dos feixes vasculares do caule de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi (N=5) .....	149
<b>Figura 8.</b> Teste histoquímico nas secções transversais do caule de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi da população de Arara, PB (N=5).....	150
<b>Figura 9.</b> Teste histoquímico nas secções transversais do caule de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi da população de Areial, PB (N=5).....	151
<b>Figura 10.</b> Teste histoquímico nas secções transversais do caule de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi da população de Boa Vista, PB (N=5).....	151
<b>Figura 11.</b> Secções transversais da região cortical e dos feixes vasculares do fruto de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi proveniente da população de Areial, PB (N=5).....	153
<b>Figura 12.</b> Teste histoquímico nas secções transversais do fruto de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi da população de Boa Vista, PB (N=5).....	154

## **CAPÍTULO V: FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

<b>Figura 1.</b> Populações de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi monitoradas, caatingas dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB (respectivamente) mesorregião do Agreste do estado da Paraíba.....	165
--	-----

<b>Figura 2.</b> Representação geográfica das áreas de monitoramento das populações de Populações de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil.....	165
<b>Figura 3.</b> Fenofases reprodutivas de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga do Agreste do estado da Paraíba. (a) botão floral, (b) flor aberta (c) fruto verde (d) fruto maduro 2014-2015.....	168
<b>Figura 4.</b> Comportamento das fenofases reprodutivas de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Arara, PB. (a) Temperatura, (b) precipitação e (c) umidade relativa do ar.....	171
<b>Figura 5.</b> Comportamento das fenofases reprodutivas de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Areial, PB. (a) Temperatura, (b) precipitação e (c) umidade relativa do ar.....	174
<b>Figura 6.</b> Comportamento das fenofases reprodutivas de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Boa Vista, PB. (a) Temperatura, (b) precipitação e (c) umidade relativa do ar - 2014-2015.....	177
<b>Figura 7.</b> Porcentagem de espécimes de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em fenofase de floração e frutificação em áreas de caatinga do Agreste do estado da Paraíba. (a) Arara, (b) Areial (c) Boa Vista, PB - 2014-2015.....	179
<b>Tabela 1.</b> Correlação de Spearman ( $r_s$ ) com suas respectivas probabilidades ( $p$ ) entre temperatura, precipitação, umidade e as reprodutivas de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Arara, PB.....	170
<b>Tabela 2.</b> Correlação de Spearman ( $r_s$ ) com suas respectivas probabilidades ( $p$ ) entre temperatura, precipitação, umidade e as reprodutivas de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Areial, PB.....	173
<b>Tabela 3.</b> Correlação de Spearman ( $r_s$ ) com suas respectivas probabilidades ( $p$ ) entre temperatura, precipitação, umidade e as reprodutivas de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Boa Vista, PB.....	176

## CAPÍTULO VI: PROSPECÇÃO FITOQUÍMICA E PERFIL DE CROMOALCALOIDES BETALAÍNICOS DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

<b>Figura 1.</b> Populações de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi alvo de prospecção, caatingas dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB (respectivamente) mesorregião do Agreste do estado da Paraíba.....	191
<b>Figura 2.</b> Representação geográfica das áreas de prospecção em Populações de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil.....	191
<b>Figura 3.</b> Curva de calibração com quercetina para determinação dos flavonoides e antocianinas totais em extratos etanólicos do caule de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi.....	204
<b>Figura 4.</b> Conteúdo de flavonoides totais do caule de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi. ARA, Arara; AR, Areial e BV, Boa Vista, PB. As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	204
<b>Figura 5.</b> Conteúdo de antocianinas totais do caule de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi. ARA, Arara; AR, Areial e BV, Boa Vista, PB. *As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	205
<b>Figura 6.</b> Conteúdo de betelaínas do fruto de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em relação ao tempo e a massa de extração.....	208
<b>Figura 7.</b> Conteúdo de betelaínas do fruto de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em relação ao tempo e temperatura de armazenamento.....	209
<b>Figura 8.</b> Conteúdo de betelaínas (betacianinas e betaxantinas) de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi. ARA, Arara; AR, Areial e BV, Boa Vista, PB. *As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	211

<b>Figura 10.</b> Cromatograma do perfil de betalaínas de extratos metanólicos de frutos de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi. das áreas de Arara (a), Areial (b) e Boa Vista, PB (c).....	215
<b>Figura 11.</b> Espectro de massa de spray de íons em modo positivo correspondendo a betanina (a) Escaner com íon emparelhado $m/z$ 551,15 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do $m/z$ 389; 309; 507 [Betanina +H] <sup>+</sup> . <i>Iso</i> -betanina (b) Escaner com íon emparelhado $m/z$ 551,15 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do $m/z$ 389; 507; 344 [ <i>Iso</i> -betanina +H] <sup>+</sup> como exemplos do padrão da fragmentação dos isômeros de betacianinas.....	216
<b>Figura 12.</b> Espectro de massa de spray de íons em modo positivo correspondendo a filocactina (a) Escaner com íon emparelhado $m/z$ 637,15 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do $m/z$ 593; 389; 551 [Filocactina +H] <sup>+</sup> . <i>Iso</i> -filocactina (b) Escaner com íon emparelhado $m/z$ 637,16 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do $m/z$ 389; 375 [ <i>Iso</i> -filocactina +H] <sup>+</sup> como exemplos do padrão da fragmentação dos isômeros de betacianinas.....	217
<b>Figura 13.</b> Espectro de massa de spray de íons em modo positivo correspondendo a lamprantina II. Escaner com íon emparelhado $m/z$ 727,2 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do $m/z$ 303; 585; 389 [Lamprantina +H] <sup>+</sup> como padrão da fragmentação dos isômeros de betacianinas.....	218
<b>Figura 14.</b> Razão entre a áreas dos picos correspondentes a betanina: filocactina do cromatograma para as populações de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi de Arara (ARA), Areial (AR) e Boa Vista (BV). *As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade.....	218
<b>Figura 15.</b> Análise de agrupamento para o para o perfil de betalaínas de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi coletados em áreas de caatinga do Agreste do estado da Paraíba. Picos do cromatograma (a) e agrupamentos em relação ao tempo de retenção na coluna analítica para as amostras de Arara (ARA), Areial (AR) e Boa Vista (BV).....	221
<b>Tabela 1.</b> Variáveis independentes codificadas e em valores absolutos do experimento para otimização da extração de betalaínas de frutos de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi.....	196
<b>Tabela 2.</b> Variáveis independentes codificadas e em valores absolutos do experimento para otimização do armazenamento de betalaínas de frutos de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi.....	197

<b>Tabela 3.</b> Metodologia para cromatografia líquida de alta eficiência para a separação de betalaínas em extratos metanólicos de frutos de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi.....	199
<b>Tabela 4.</b> Valores médios das características físicas do fruto de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi nos diferentes estádios de maturação.....	200
<b>Tabela 5.</b> Valores médios das características físico-química do fruto de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi nos diferentes estádios de maturação.....	201
<b>Tabela 6.</b> Perfil fitoquímico de extrato bruto etanólico de partes morfológicas de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi.....	202
<b>Tabela 7.</b> Estabilidade (Abs, absorbância) de pigmentos betalaínicos de frutos de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em relação ao tempo e a massa de extração. Médias e desvios padrão de amostras em triplicata.....	208
<b>Tabela 8.</b> Estabilidade (Abs, absorbância) de pigmentos betalaínicos de frutos de <i>Pilosocereus catingicola</i> (Gürke) Byles & Rowley subsp. <i>salvadorensis</i> (Werderm.) Zappi em relação ao tempo e temperatura (Temp.) de armazenamento. Médias e desvios padrão de amostras em triplicata.....	210

## LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

AB – Área Basal

Abs – Absorbância

Adu – Adultos

AESA – Agência Executiva de Gestão de Águas do Estado da Paraíba

ATM – Unidade de pressão, Atmosfera

BDMEP – Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa

cmolc kg<sup>-1</sup> – Centimol de carga por quilograma

CPRM - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DAD – Detector de Fotodiodo

Dai – Densidade Absoluta

DAP – Diâmetro ao Nível do Peito

DNB – Diâmetro ao Nível da Base

DoAi – Dominância Absoluta

FAi – Frequência Absoluta

g - Grama

g/cm<sup>3</sup> – Gramas por centímetro cúbico

ha – Hectare

HPLC – Cromatogramfia Líquida de Alta Eficiência, *High Performance Liquid Chromatography*

I. Lang – Índice de Desertificação de acordo com o modelo de Lang

I. Meyer – Índice de Desertificação de acordo com o modelo de Meyer

I. ONU – Índice de Desertificação de acordo com o modelo das Nações Unidas

IBAMA - Insituto Brasileiro de Recursos Naturais Renováveis

IBGE – Insituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IGA – Índice de Agregação (McGuinnes)

Ind. – Indivíduo, alusão a espécime (entidade biológica)

m – Metro

$m/z$  - Razão de massa/carga, relativo a fragmentação molecular do espectro de massa

mAU – Unidade de abosbância, equivale a mil unidades de absorbância

min – Minuto

mm – Milímetro

MS – Espectrometria de Massa, *Mass Spectrometry*

MS – Massa Seca

P – Permutação

$p$  – Probabilidade estatística de ocorrência de um fenômeno

QTOF – Quantificação do tempo de vôo, *Quantification of Time of Flight*

Reg – Regenerantes

RP – Fase Reversa, *Reversed Phase*

$r_s$  – Correlação de Spearman

UFC – Universidade Federal do Ceará

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande

UFPB – Universidade Federal da Paraíba

UFPE – Universidade Federal de Pernambuco

UFRPE – Universidade Federal de Rural de Pernambuco

UNIMELB – A Universidade de Melbourne, *The University of Melbourne*

UTL – Universidade Técnica de Lisboa

UTM – Coordenada Geográfica Métrica de Mercator, *Universal Transverse Mercator*

$\lambda_{\max}$  [nm] – Absorbância máxima em nanômetros

°C – Temperatura em graus Celsius

$\mu\text{m}$  – Micrômetro



## SUMÁRIO

### RESUMO

### ABSTRACT

### LISTAS DE TABELAS, QUADROS E FIGURAS

### LISTA DE ABREVIACÕES E SÍMBOLOS

## CAPÍTULO I: AS CACTÁCEAS E A ADAPTAÇÃO AO CLIMA SEMIÁRIDO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO GERAL.....</b>	<b>30</b>
<b>2</b>	<b>REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>32</b>
2.1	A Família Cactaceae e o Gênero <i>Pilosocereus</i> .....	32
2.2	O Clima Semiárido e a Adaptação de Cactaceae.....	35
2.2.1	Aspectos ecológicos, anatômicos e morfológicos.....	37
2.2.2	Aspectos genéticos e fisiológicos.....	39
2.2.1.1	Biossíntese de cromocalcoides betalaínicos.....	42
<b>3</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS.....</b>	<b>47</b>
<b>4</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>48</b>

## CAPÍTULO II: CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E ATRIBUTOS DE SOLOS EM ÁREAS DE DOMÍNIO DE *Pilosocereus catincola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

### RESUMO

### ABSTRACT

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>58</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>60</b>
2.1	Áreas de Domínio.....	60
2.2	Aquisição e Tabulação dos Dados Climáticos.....	62
2.3	Cálculo do Índice de Aridez.....	62
2.4	Coleta e Análise de Solos.....	63
2.5	Análise Estatística.....	64
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>65</b>
3.1	Indicadores Climáticos.....	65
3.2	Balanco Hídrico-Climatológico.....	68

3.3 Índice de Aridez.....	72
3.4 Caracterização dos Atributos Físicos do Solo.....	78
3.4.1 Distribuição de partículas nas áreas.....	82
3.4.2 Densidade, porosidade, umidade e água disponível.....	83
3.5 Caracterização dos Atributos Químicos do Solo.....	86
3.5.1 Cátions trocáveis, nitrogênio, enxofre, fósforo, alumínio e hidrogênio.....	88
3.5.2 Saturação por bases, carbono orgânico, matéria orgânica, pH e condutividade elétrica.....	92
3.6 Considerações sobre o Clima e o Solo das Áreas.....	96
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>97</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>98</b>

**CAPÍTULO III: ESTRUTURA POPULACIONAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE) EM ÁREAS DE CAATINGA**

**RESUMO**

**ABSTRACT**

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>108</b>
<b>2 MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>110</b>
2.1 Áreas de Estudo.....	110
2.2 Aplicação de Questionário Semiestruturado.....	112
2.3 Coleta de Dados e Estrutura Horizontal.....	112
2.4 Identificação do Material Botânico.....	115
2.5 Estrutura Espacial e Análise Estatística.....	115
<b>3 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>117</b>
3.1 Histórico do Uso e Conservação Ambiental das Áreas.....	117
3.2 Identificação do Material Botânico.....	119
3.3 Estrutura Horizontal das Populações.....	119
3.4 Distribuição Espacial das Populações.....	123
3.5 Considerações Sobre a Ecologia das Populações.....	126
<b>4 CONCLUSÕES.....</b>	<b>129</b>
<b>5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>130</b>

**CAPÍTULO IV: ANATOMIA DOS ÓRGÃOS VEGETATIVOS E DO FRUTO DE *Pilosocereus cattingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

**RESUMO**

**ABSTRACT**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>139</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>141</b>
2.1	Áreas de Coleta do Material Vegetal.....	141
2.2	Análise Microscópica.....	142
2.3	Histoquímica: Teste para alcaloides.....	143
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>144</b>
3.1	Anatomia e Histoquímica da Raiz.....	144
3.2	Anatomia e Histoquímica do Caule.....	146
3.3	Anatomia e Histoquímica do Fruto.....	152
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>155</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>156</b>

**CAPÍTULO V: FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Pilosocereus cattingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

**RESUMO.**

**ABSTRACT.**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>163</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>165</b>
2.1	Áreas de Monitoramento.....	165
2.2	Avaliação Fenológica das Populações.....	167
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>169</b>
4.1	Fenofases Reprodutivas da População de Arara, PB.....	169
4.2	Fenofases Reprodutivas da População de Areial, PB.....	172
4.3	Fenofases Reprodutivas da População de Boa Vista, PB.....	175
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>180</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>181</b>

**CAPÍTULO VI: PROSPECÇÃO FITOQUÍMICA E PERFIL DE CROMOALCALOIDES BETALAÍNICOS DE *Pilosocereus cattingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

**RESUMO**

**ABSTRACT.**

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>189</b>
<b>2</b>	<b>MATERIAL E MÉTODOS.....</b>	<b>191</b>
2.1	Áreas de Prospeção.....	191
2.2	Autorização para a Acesso ao Patrimônio Genético Autóctone.....	192
2.3	Identificação do Material Vegetal.....	193
2.4	Caracterização Física, Físico-Química e Secagem dos Frutos.....	193
2.5	Coleta do Material e Preparo das Amostras.....	194
2.6	Extração e Concentração dos Metabólitos.....	194
2.7	Triagem Fitoquímica.....	194
2.7.1	Determinação do conteúdo de flavonoides totais.....	195
2.7.2	Determinação do conteúdo de antocianinas totais.....	195
2.8	Modelagem para Extração e Armazenamento de Betalaínas.....	196
2.9	Determinação do Conteúdo e Perfil de Betalaínas dos Frutos.....	198
2.10	Análise Estatística.....	199
<b>3</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>200</b>
3.1	Caracterização Física e Físico-Química dos Frutos.....	200
3.2	Triagem Fitoquímica.....	201
3.3	Determinação do Conteúdo de Flavonoides e Antocianinas Totais.....	203
3.4	Modelagem da Extração e Armazenamento de Betalaínas.....	206
3.5	Quantificação e Perfil de Betalaínas.....	216
3.6	Análise de Agrupamento do Perfil de Metabólitos Expressos.....	220
<b>4</b>	<b>CONCLUSÕES.....</b>	<b>222</b>
<b>5</b>	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>223</b>

**APÊNDICE**

**ANEXO**

## **CAPÍTULO I:**

### **AS CACTÁCEAS E A ADAPTAÇÃO AO CLIMA SEMIÁRIDO**

## 1 INTRODUÇÃO GERAL

As cactáceas são originárias da América e possivelmente surgiram há 30 milhões de anos em meados do Terciário. À exceção da epífita *Rhipsalis bacifera* com distribuição natural na África tropical, Madagascar, Ilhas do Oceano Índico e Sri Lanka os espécimes ocorrem naturalmente ao longo da América tropical e subtropical (HERSHKOVITZ e ZIMMER, 1997; ANDERSON, 2001). A família constitui-se com representantes ecléticos onde podem ser encontrados espécimes de porte arbóreo (*Pereskia sacharosa*) e rasteiros (*Ariocarpus retusus* subsp. *retusus*) (ANDERSON, 2001). A família encontra-se subdividida em três subfamílias: *Opuntioideae*, *Cactoideae* e *Pereskioideae* (NYFFELER, 2002) e possui aproximadamente 120 gêneros e 1.438 espécies (EDWARDS et al., 2005)

Segundo Barthlott e Hunt (1993) existem três centros de diversidade de cactáceas na América, o centro norte do México e região semiárida do Oeste dos Estados Unidos, onde esses locais estão caracterizados pelas tribos *Cactae* e *Pachycereeae*. Na América do Sul está situado na região Andina, parte do Peru, Bolívia, Chile e Argentina o segundo centro de diversidade, tendo como representantes *Browningieae*, *Notocactae* e *Trichocereae*. O Brasil é um dos centros Sul Americano e a caatinga é apontada como centro de diversidade da tribo *Cereeae* e como terceiro maior centro de diversidade de Cactaceae com aproximadamente 200 espécies (SOUZA et al., 2005).

A caatinga paraibana apresenta-se como uma formação florestal com endemismos e sobretudo habitat de muitas das cactáceas brasileiras com destaque para os gêneros mais representativos *Pilosocereus*, *Harrisia*, *Melocactus*, *Tacinga*, *Cereus* e *Arrojadoa* (BARBOSA, 2011). Populações monoespecíficas de *Pilosocereus* spp. são comuns ao longo dos fragmentos de caatinga existentes, sobretudo na região do Cariri do estado da Paraíba. Na região, a espécie é conhecida como facheiro, pertence ao gênero *Pilosocereus* de ocorrência também no México, sendo agrupada na subfamília *Cactoideae* e tribo *Cereeae*. As espécies deste gênero são caracterizadas pela abundância de pilosidades ao redor dos espinhos e florescimento nas aréolas próximas ao caule, com antese noturna sendo polinizados por morcegos durante a estação seca (ANDERSON, 2001).

Conforme Zappi e Taylor (2008) de um total de 160 cactáceas ocorrentes em nosso País, 42 espécies, representando 26% da família ocorrem nos campos rupestres, ao passo que 31% estão distribuídas na caatinga (incluindo o ecótono com a Mata Atlântica denominado Agreste). A ocorrência de cactáceas está determinada pela combinação específica de uma série de fatores

abióticos e bióticos (altitude, substrato, germinação, polinização, dispersão, etc.). Segundo Santos (2009) a distribuição de cactáceas está altamente correlacionada com a precipitação no mês mais seco, regime climático, faixa de altitude, condição nutricional do solo, latitude e longitude, ainda acrescenta que a distribuição da riqueza das cactáceas no leste do Brasil possui padrão de distribuição concentrado em nível intermediário, contudo, estudos mais específicos são necessários.

Como importantes recursos fitogenéticos do semiárido, as cactáceas são utilizadas basicamente para alimentação animal durante a estação seca. Entretanto, apresentam potencial para a extração de compostos bioativos, Anderson (2001) reportou a presença de betalínas, pigmentos naturais nitrogenados, que englobam as betacianinas (coloração violácea) e as betaxantinas (alaranjada), onde na espécie *Lophophora williamsii*, foram identificado mais de 50 diferentes tipos de alcalóides com fenetilaminas, triterpenos e esteróis, podendo esses metabólitos serem expressos também em *Pilosocereus catingicola* e estar altamente correlacionados com as instáveis condições edafoclimáticas do semiárido paraibano.

Mais especificamente, na mesorregião do Agreste Paraibano, onde a sazonalidade das chuvas é um fator decisivo para o crescimento e a produção vegetal, estudos preliminares demonstraram elevada abundância e distribuição de *P. pachycladus* (BARBOSA, 2011). Neste sentido, presume-se que essas populações apresentam: (I) plasticidade e características adaptativas às condições de solo e clima das áreas de caatinga; (II) A condição de uso da vegetação das áreas afetam os descritores ecológicos da espécie; (III) O padrão fenológico reprodutivo da espécie acompanha o período de maior oferta hídrica e, (IV) Os espécimes expressam constituintes químicos semelhantes, contudo variáveis ao longo dos ambientes como uma alternativa hidrorreguladora.

Neste sentido, estudos que possam demonstrar a distribuição das populações e suas relações com o ambiente em que vivem, descrição ecológica, anatômica e características e metabólômicas são importantes, uma vez que assumem importância para a região nordeste do Brasil bem como por meio destes subsidiar programas de uso e conservação futuros.

O objetivo do estudo foi realizar um estudo ecológico, anatômico e metabólômico de populações de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi de ocorrência em áreas de caatinga do Agreste do estado da Paraíba, Brasil.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 A família Cactaceae e o Gênero *Pilosocereus*

#### Cactaceae

As cactáceas são nativas do continente americano, com exceção da epífita *Rhipsalis baccifera*, existente na África tropical, Madagascar, Ilhas do Oceano Índico e Sri Lanka (ANDERSON, 2001). O Brasil é considerado como terceiro maior centro de diversidade de Cactaceae, com um total de aproximadamente 200 espécies (SOUZA et al., 2005). A família encontra-se subdividida em três subfamílias: *Opuntioideae*, *Cactoideae* e *Pereskioideae* (NYFFELER, 2002). A subfamília *Opuntioideae* está restrita a América do Sul ou do Norte. Os gêneros *Harrisia*, *Hylocereus*, *Melocactus*, *Pereskia*, *Pilosocereus* e *Rhipsalis* podem ser encontrados em regiões equatoriais das massas continentais, o gênero *Mammillaria* pode ser encontrado no Caribe. De acordo com Barthlott e Hunt (1993), existem três centros de diversidade das cactáceas, o centro norte do México e região semiárida do Oeste dos Estados Unidos, onde esses locais estão caracterizados pelas tribos *Cactae* e *Pachycereeae*. Na América do Sul está situado na região Andina, parte do Peru, Bolívia, Chile e Argentina o segundo centro de diversidade, sendo os representantes deste centro *Browningieae*, *Notocactaeae* e *Trichocereaeae* e o Brasil é um dos centros Sul Americano, a caatinga é apontada como centro de diversidade da tribo *Cereeae*. Segundo Edwards et al. (2005) a família apresenta aproximadamente 120 gêneros e 1.438 espécies.

As cactáceas constituem uma família eclética de plantas, podendo ser encontrados espécimes arbóreos e rasteiros. A diversidade existente na família se expressa em diversas características, quer sejam: anatômicas, fisiológicas, morfológicas e adaptativas. Com facilidade podem-se avistar indivíduos da família ao longo das margens das estradas que ligam os municípios nordestinos, onde se destacam pela sua importância como fonte de renda, sendo as várias espécies cultivadas para fins ornamentais, forrageiros e medicinais (CASTRO, 2008). Essa multiplicidade de usos dá-se pelo seu endemismo na região semiárida, bem como pelo seu uso eficaz, comprovadas empiricamente pelos sertanejos que delas servem-se, para os mais diversos fins.

As cactáceas apresentam potencial para a extração de biocompostos ativos, Anderson (2001), reporta a presença de betalaínas, que englobam as betacianinas (coloração violácea) e



as betaxantinas (alaranjada). Para o mesmo autor, a espécie *Lophophora williamsii*, possui mais de 50 diferentes tipos de alcalóides com fenetilaminas, triterpenos e esteróis, com vários anéis de carbono e grupos alcoóis. Um estudo com Mandacaru (*Cereus jamacaru*) constatou influência antimicrobiana sobre o crescimento de *Streptococcus epidermidis*, *Staphylococcus aureus*, *Pseudomonas aeruginosa* e *Escherichia coli* (DAVET et al., 2009).

Alguns frutos podem ser consumidos em sua forma *in natura* como a Pitaya (*Hylocereus undatus*) e o Figo da Índia (*Platyopuntia ficus-indica*). No sudeste do Brasil a *Pereskia* sp. é utilizada no prato costelinha de porco ora-por-nobris, já no nordeste brasileiro, a Coroa-de-frade (*Melocactus* spp.) e o Facheiro (*Pilosocereus* spp.) vêm sendo utilizados na fabricação de doces, bolos, biscoitos e cocadas, podendo ser uma nova fonte de renda para as comunidades e um atrativo para a gastronomia exótica (SILVA et al., 2005).

Como fitoterápico, Anderson (2001) descreveu a utilização do látex de *Mammillaria heyderi* no tratamento de dores nos ouvidos, tanto para a dor como para casos de surdez. Espécies dos gêneros *Cephalocereus* e *Echinocereus* são usadas para fazer o molde para cobrir um membro ósseo quebrado ou fraturado, auxiliando na recomposição do tecido ósseo. As hastes de plantas desse gênero são fervidas para fazer um chá, um bom remédio para a dor ou como laxante. *Ariocarpus bravoanus* subsp. *hintonii* e *A. kotschoubeyanus* são embebidas em álcool e o líquido é então utilizado para o tratamento de reumatismo e outras dores. Os Havaianos usam o caule e a raiz em forma de suco para a constipação e ajudar as mulheres em fase de gestação (MOERMAN, 1998).

Várias espécies do gênero *Opuntia* spp. são relatadas por Moore (1989) como cataplasmas, na Europa ocidental, utilizados para infecções na gengiva e feridas na boca, como analgésico para problemas relacionados ao sistema urinário. Há também relatos de que algumas espécies são eficazes no alívio das consequências nefastas da diabetes, podem resultar na presença de saponinas nestes cactos (CRUSE, 1973). Flores secas, que aparentemente são ricas em flavonoides e diferentes antocianinas, são úteis no tratamento de doenças caracterizadas por inflamação das membranas mucosas, tais como vaginite e diverticulose (MOORE, 1989).

Como potencial antioxidante, o consumo de frutos de palma (*Opuntia ficus-indica*) afeta positivamente o equilíbrio redox do corpo, diminuindo o dano oxidativo a lipídeos e melhora a capacidade antioxidante em humanos saudáveis (TESORIERE et al., 2004). Mais recentemente, Chavez-Santoscoy et al. (2009) comprovaram efeito por meio da utilização de sucos de nove peras da Índia (*Opuntia* spp.) em quatro linhagens de células cancerígenas (*in vitro*), concluíram que as células cancerígenas do cólon e próstata foram os mais afetados, pela

ação de fitoquímicos o que podem conferir a esses constituintes químicos características de prevenção do estresse oxidativo e do câncer.

### *Pilosocereus*

O gênero *Pilosocereus* possui ocorrência natural no México e na América do Sul, pertencente à subfamília *Catoideae*, tribo *Cereeae*, compreendendo de 36 espécies neotropicais (ZAPPI, 1994). Com maior ocorrência no Brasil, aproximadamente 26 espécies, distribuídas na caatinga, em rochas e dunas, em afloramentos rochosos, nas florestas de espinho e agrestes e nos campos rupestres do Planalto Brasileiro (ZAPPI, 1994). Segundo Zappi e Taylor (2008) de 160 cactáceas ocorrentes em nosso país, 42 espécies, representando 26% da família ocorrem nos campos rupestres, ao passo que 31% estão distribuídas na caatinga.

Segundo Anderson (2001) a nomenclatura *Pilosocereus* é recente, tendo sido proposta por Ronald Byles e Gordon Rowley em 1957. Algumas espécies foram descritas anteriormente, contudo ao longo colocados em *Pilocereus*, descrita por Charles Lemaire, em 1839. No entanto, a espécie tipo de gênero de Lemaire é a mesma que a de *Cephalocereus*, descreveu um ano antes por Ludwig Pfeiffer: *Senilis Cactus*. Neste sentido, a nomenclatura *Pilocereus* é ilegítima. Uma tentativa foi feita por Karl Schumann redefinir *Pilocereus* sem tipo de Lemaire, mas que só resultou em um outro nome ilegítimo. Uma proposta foi feita em 1954 para o Congresso Internacional de Botânica de reter *Pilocereus* pela conservação desse nome, mas não foi aceita. A solução foi inventar um novo nome, o que foi feito por Byles e Rowley (1957) para descrever *Pilosocereus* (tipo, *P. leucocephalus*) para incluir as 58 espécies anteriormente de *Pilocereus*.

O nome *Pilosocereus* é derivado de *pilosus* Latina, cabeludo, *cereus*, peludo, semelhante aos *pilos* gregos, *feltro*, a partir do qual foi derivado. Esse gênero caracterizado pela presença de abundantemente aréolas lanosas, com floração noturna perto das pontas dos caules, polinizadas por morcegos no verão. As flores são carnudas, com pericarpos nus e tubos florais proeminentes (ANDERSON, 2001).

Seus espécimes são conhecidos como facheiro, apresentam porte arbustivo-arbóreo, 3-10 m. Hastes eretas, cinza-verde a azul-verde, lisas, 5,5-11 cm (2,2-4,3 cm) de diâmetro. Lóbulos em número de 4-12, transversais. Espinhos translúcidos, amarelo dourado, tornando-se cinza. Espinhos centrais, com 0,5-30 mm de comprimento. Espinhos radiais 8-12, achatados

contra a superfície da haste, 5-15 mm de comprimento. Possuem aréolas com flor subapical em uma ou mais nervuras. Botões florais agudos ou obtusos.

As flores apresentam-se extremamente variáveis, 5,5-6,7 cm de comprimento, 4,7-7 cm de diâmetro. Os frutos são deprimidos globosos com coloração totalmente magenta quando maduros. Sua distribuição é reportada a região nordeste do Brasil.

Duas espécies de *Pilosocereus catingola* são reconhecidas por Zappi (1994), a subespécie *cattingola* possui caule com 8-12cm com 4 a 6 lóbulos e espinho central robusto com 10-40mm de diâmetro com ocorrência de 200-850 m ao longo do Estado da Bahia. A subespécie *salvadorensis* possui caule com 3,5-6cm de diâmetro com 6-12 lóbulos e espinhos centrais delgados com 2-10mm de comprimento. A literatura aponta sua ocorrência para Sergipe, Alagoas, Pernambuco, Rio Grande do Norte, Ceará e Bahia (ANDERSON, 2001).

As cactáceas nativas, sobretudo do gênero *Pilosocereus*, necessitam de estudos que possam demonstrar os padrões de dispersão, as relações com o ambiente em que vivem, sobretudo na capacidade adaptativa ao ambiente semiárido, por se tratarem de um recurso fitogenético regional de importância para os nichos ecológicos dos fragmentos de caatinga remanescentes e por apresentar propriedades medicinal popular anti-inflamatória e anti-cancerígena.

## 2.2 O Clima Semiárido e a Adaptação de Cactaceae

Os ambientes áridos no mundo são altamente diversificados em termos de paisagem, fauna, flora, balanço hídrico e atividades humanas, tornando-se assim uma das mais complexas áreas onde os eventos naturais são altamente dinâmicos e por vezes instáveis. De acordo com a FAO (2014) as zonas áridas no globo podem ser divididas em hiperárido, árido e semiárido, correspondendo 4,2; 14,6 e 12,2% da litosfera terrestre, respectivamente. A Convenção das Nações Unidas (ONU) considera Hiperárido áreas com índice ( $<0,05$ ), Árido ( $0,05 < 0,20$ ), Semiárido ( $0,21 < 0,50$ ), Subsumido seco ( $0,51 < 0,65$ ), Subúmido e úmido ( $>0,65$ ), sendo este índice calculado pela razão entre a precipitação pluvial (P) e evapotranspiração potencial (ETP) (SRH/MMA, 2007).

Os solos do semiárido brasileiro apresentam diversidade litológica e relevo o que visualizam-se na ocorrência de diversas classes de solos na região, tendo-se constatados desde

solos muito jovens NEOSSOLOS LITÓLICOS (19,2%), até solos muito evoluídos como os LATOSSOLOS (21%), bem como áreas de ARGISSOLOS (14,7%), LUVISSOLOS (13,3%), NEOSSOLOS QUARTZÊNICOS (9,3%), PLANOSSOLOS (9,1%), NEOSSOLOS REGOLÍTICOS (4,4%) e CAMBISSOLOS (3,6%). Em pequenas extensões, perfazendo 5,4% da região, são constatados NEOSSOLOS FLÚVICOS, PLANOSSOLOS, VERTISSOLOS, CHERNOSSOLOS, GLEISSOLOS e CHERNOSSOLOS ARGILÚVICOS (JACOMINE, 1996).

A condicionante climática das regiões semiáridas resumidamente pode ser descrita pelas elevadas temperaturas acima de 20°C médias anuais, precipitações mal distribuídas, por vezes escassas (280 a 800mm) e déficit hídrico (ARAÚJO e FERRAZ, 2003). O período de chuvas é variável e de acordo com a condição atmosférica, com o fluxo das massas de ar, do relevo, dentre outros, submetendo às populações vegetais a uma condição altamente estressante sob o ponto de vista da variabilidade hídrica.

A alta variabilidade das chuvas é caracterizada pelas entradas infrequentes, heterogêneas e sazonais constituindo assim como um paradigma da oferta hídrica para o semiárido e responsável pelo dinamismo vegetal ali existente (NOY-MEIR, 1973; ANDRADE et al., 2006). O déficit hídrico é caracterizado pelo potencial de evapotranspiração maior que as precipitações pluviais, desse advento as plantas recorrerem a processos adaptativos, permanecendo vivas, entretanto com aparência de desvitalizadas, fenômeno comum das plantas da caatinga conhecido por caducifolia.

Há um consenso de que a principal condicionante da vegetação da caatinga é a distribuição variável e errática das chuvas (ARAÚJO e FERRAZ, 2003). Essa tipologia vegetacional apresenta crescimento e desenvolvimento heterogêneo, fato esse associado às características edafoclimáticas regionais. Essa dinâmica nos ecossistemas áridos e semiáridos é regida pela teoria dos “*pulsos-reserva*” (NOY-MEIR, 1973; ANDRADE et al., 2006), em que a água assume a função de “*starter*” para o desencadeamento das atividades metabólicas vegetais. Uma vez estimuladas, elas se desenvolvem oportunamente e transformam os nutrientes em produção primária. Essas variações ecofisiológicas dependem de interações complexas entre a umidade do solo, nutrientes disponíveis, tipo de cobertura do solo e temperatura, quando combinados resultam em diferentes respostas de cada organismo às condições das formações vegetais da caatinga e consequentemente na produção dos produtos naturais.

### 2.2.1 Aspectos ecológicos, anatômicos e morfológicos

A distribuição da vegetação e, sobretudo de Cactaceae do Nordeste do Brasil é profundamente influenciada pelo forte, gradiente climático que vai da úmida costa leste até o sertão, pela umidade do solo, precipitação, relevo e altitude (SANTOS, 2009). Os fatores edafoclimáticos favorecem o desenvolvimento de uma vegetação adaptada às condições do semiárido, formada em sua maioria, por plantas xerófilas e caducifólias originadas um tipo de formação florestal denominado de caatinga (LIMA, 1996). Essa vegetação é composta de grupos taxonômicos endêmicos como espécies e gêneros de Cactaceae, as quais ocupam densas áreas da paisagem natural e cultural do semiárido Paraibano, sendo plantas que configuram-se numa fonte de alimento para os animais, fitoterápicos, sustentabilidade ambiental, etc. Nesse contexto, estudos que possibilitem demonstrar a distribuição e a forma como estas plantas se comportam em ambientes naturais e com algum nível de antropização são importantes para o desenvolvimento de programas para a o uso e conservação dos espécimes da família na região.

Segundo Ribeiro (2011) em áreas antropicamente perturbadas, as cactáceas podem se apresentar como oportunistas em relação a outras espécies quando associadas a condições de solo favoráveis, no entanto quando a perturbação atinge a predação dos agentes polinizadores essa relação é invertida. Portanto, há necessidade de estudos que caracterizem esses fatores no sentido de dar suporte para o estabelecimento de programas voltados para a conservação das espécies em áreas de caatinga do semiárido Paraibano.

No que diz respeito às características morfológicas, as raízes das cactáceas situam-se logo abaixo do solo, são responsáveis pela absorção de água, nutrientes do solo e ainda como sinalizadoras para a parte aérea da planta. Normalmente são rasas e dispersas junto à superfície para coletar água, respondendo rapidamente aos pulsos de água do solo. Em *Mammillaria coryphanta* armazenam água, nas espécies epífitas verifica-se a presença de raízes adventícias para sua fixação vertical. Arruda et al. (2005) estudando quatro espécies de cactáceas com fins de entendimento das adaptações destas plantas ao ambiente observaram a presença de raízes adventícias surgirem da base do hipocótilo, constituindo um sistema radicular fasciculado.

O caule apresenta-se verde, revestido por espinhos de forma, cor, dimensão e disposição variáveis, substituindo as folhas (BARROSO et al., 2002). Apresentam forma variável, constituído basicamente por um eixo globoso ou alongado (*Melocactus* sp.), ou alongado e com gomos (*Cereus* sp., *Pilosocereus* spp.) ou cladódios achatados no plano do eixo

maior e segmentado (*Opuntia* sp., *Epiphullum* sp.) ou ainda, excepcionalmente cilíndrico (*Rhipsalis* sp.).

O caule é uma parte estudada com fins de identificação entre as espécies, pois cada uma apresenta uma conformação anatômica diferenciada. Dettke e Gutierre (2008) estudando espécies de cactos epífitos concluíram que estes possuem o caule recoberto por cutícula espessa, por vezes com uma camada epicuticular adjacente, uma característica para suportar a alta evapotranspiração em regiões semiáridas. Outro estudo anatômico de folha e caule de *Pereskia aculeata* Mill., apresentou caracteres estruturais que contribuem na identificação desta espécie medicinal (DUARTE e HAYASHI, 2005).

As flores surgem das aréolas, sendo que nas espécies *Myrtillocactus geometrizans* podem surgir mais de uma flor por aréola. Geralmente são andróginas, regulares ou irregulares, solitárias ou agrupadas em inflorescências, vistosas formadas por inúmeros segmentos, dos quais os mais externos são verdes e calicinos e os mais internos são coloridos e petalóides, soldados em maior ou menor extensão na base (JOLY, 2002). O androceu é constituído por diversos estames com filetes filiformes, às vezes fasciculados, inseridos na parte interna do receptáculo, possuem anteras biloculares, globosas e muito pequenas. O gineceu é constituído por ovário ínfero (raramente súpero em *Pereskia*), unilocular, formado por vários carpelos, pluriovulado, dispostos em placentação parietal (BARROSO et al., 2002; SOUZA e LORENZI, 2005).

As sementes da grande maioria das cactáceas são de coloração amarelada, avermelhada, castanha, preta ou aparentando esbranquiçada (completamente escuras cobertas por uma mucilagem pálida), resistente, raramente globosa ou pubescente, reniforme, piriformes, obovóide, lenticular, ou semicirculares, com 0,4-12 mm de diâmetro; tegumento brilhante ou fosco; raramente com apêndices (EFLORAS, 2010).

Em relação às características anatômicas, a epiderme é fortemente cutinizada, composta por ácidos graxos de cadeia longa polimerizada, na parte mais exterior apresenta camadas cerosas espessas. Esta cera é responsável pela glauco, esbranquiçada ou mesmo coloração azulada em algumas espécies. Os estômatos são tipicamente paracíticos o que significa que as células subsidiárias estão alinhadas, em paralelo com às células-guarda (ANDERSON, 2001).

Diretamente abaixo da epiderme encontra-se a hipoderme, que se coloca de forma diferente a partir da epiderme e pode ser constituída por várias camadas de células com paredes

celulares espessas, de alta ductibilidade. Estas células proporcionam protecção e resistência mecânica da haste.

O córtex consiste de principalmente células não especializadas que realizam a fotossíntese, clorênquima e o parênquima com função de armazenamento de água e nas células hipodérmicas são encontrados cristais de oxalato de cálcio, como uma resposta adaptativa para aumentar a capacidade de armazenamento de água (SAJEVA e MAUSETH, 1991).

### 2.2.2 Aspectos genéticos e fisiológicos

Os estudos com diversidade genética podem elucidar acontecimentos ao longo da história de vida e características ecológicas os quais podem ajudar a identificar grupos de populações vulneráveis aos fatores responsáveis pela erosão da diversidade genética. Entretanto, estudos disponíveis em populações de cactáceas ainda estão restritas a 30 de aproximadamente 1.600 espécies, que foram analisadas usando diferentes marcadores genéticos, incluindo alozimas, RAPDs e ISSRs (CLARK-TAPIA et al., 2005; CASAS et al, 2007). As cactáceas estudadas apresentam alto nível de variabilidade genética ( $H_s = 0,211$ , HAMRICK et al., 2002), com vários loci que possuam um alelo dominante em alta frequência e vários alelos raros; no entanto o número de espécies analisadas é relativamente baixo para predizer padrão generalizado para a família.

Segundo Castro (2008), as contagens cromossômicas para Cactaceae mostram que aproximadamente 30% apresentam poliploidia, principalmente em *Opuntinoideae* e *Cactoideae* sendo a maior porcentagem encontrada na primeira.

Várias espécies de cactos colunares com ampla distribuição geográfica podem ter níveis elevados de variabilidade genética (HAMRICK et al., 2002; CASAS et al., 2007; PARRA et al., 2008), como esperado para taxa de plantas cobrindo ambientes contínuos (HAMRICK e GODT, 1989). Um estudo com *Stenocereus eruca*, uma espécie endêmica, altamente clonal no deserto de Sonora, Baja, Califórnia, apresentaram baixa variação aloenzimática a nível populacional (Diversidade genética em nível de população  $H_p = 0,158$  (CLARK-TAPIA et al., 2005). Pelo contrário, *Facheiroa squamosa*, *Pilosocereus machrisii*, *Pilosocereus aureispinus*, *Pilosocereus viloboensis* e *Praerocereus euchlorus* todos de distribuição em locais próximos

no leste do Brasil apresentaram as maiores estimativas da variação genética registrada para cactáceas ( $H_p = 0,284 - 0,401$ ) (MORAES et al, 2005).

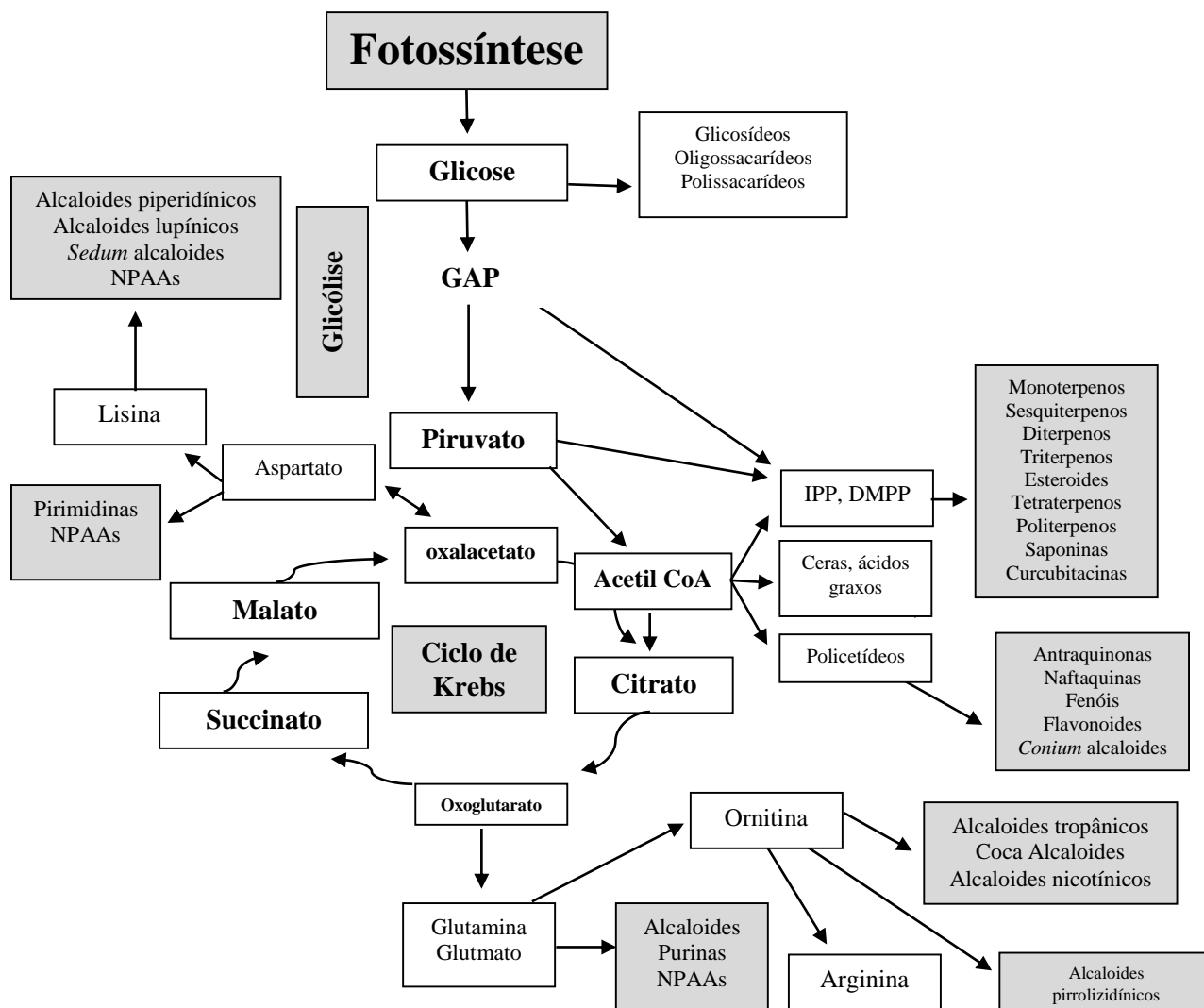
No tocante ao aspecto fisiológico, ao longo da história evolutiva as cactáceas desenvolveram vários mecanismos de adaptação ao ambiente, um dos principais deles foi o mecanismo de concentração de  $\text{CO}_2$ : CAM (*Crassulacean Acid Metabolism*). Numa típica planta CAM, durante a noite o  $\text{CO}_2$  na forma de  $\text{HCO}_3^-$  é capturado pela PEP-carboxilase no citosol, a qual combina ao  $\text{HCO}_3^-$ , produzindo o oxaloacetato. Esse composto é então convertido para malato, o qual se acumula nos vacúolos. Durante o dia, o malato estocado é transportado para os cloroplastos e descarboxilado, liberando  $\text{CO}_2$  e reduzido pelo ciclo de Calvin. Estas plantas são típicas de ambientes áridos, abrem os estômatos durante a noite e fecham durante o dia, reduzindo a perda hídrica.

Muitos vegetais de regiões semiáridas apresentam outras adaptações, como a presença de espinhos, mais resinosas ou mais tóxicas. As cactáceas, por exemplo, adaptam-se às condições de sol pleno estendendo a área de solo para absorção de água, reduzindo a sua perda nas folhas (espinhos), ou aumentando a quantidade de água armazenada em seus tecidos e, espessas camadas de cera para reduzir o efeito da evapotranspiração.

As cactáceas apresentam certamente múltiplas adaptações anteriormente mencionadas. Nesse contexto, os metabólitos secundários assumem importância na interrelação da planta com o ambiente. Esses compostos são originados no metabolismo de assimilação de dióxido de carbono pelo vegetal, conhecido com metabolismo primário: hidratos de carbono, proteínas e lipídeos para em seguida a produção dos secundários: Terpenos, compostos fenólicos e nitrogenados.

As rotas envolvidas na produção dos compostos secundários são basicamente: para os terpenos ou *terpenóides*: (1) Metabolismo CAM, Ciclo  $\text{C}_3$  da fotossíntese, 3-Fosfoglicerato e rota da metileritritolfosfato (MEP); (2) Glicólise, piruvato, acetil CoA e rota do ácido mevalônico (mevalonato). Para os compostos fenólicos: (1) Glicólise, via das pentoses-fosfato, eritrose-4-fosfato e rota do ácido chiquímico (Chiquimato); (2) Glicólise, piruvato, acetil CoA e rota do ácido malônico. Para os compostos nitrogenados: (1) Via das pentoses-fosfato, fosfoenolpiruvato, rota do chiquimato e aminoácidos aromáticos; (2) Glicólise, piruvato, acetil CoA, ciclo do ácido tricarboxílico (*Krebs*), aminoácidos alifáticos (TAIZ e ZEIGER, 2013). Na figura 1 é possível observar, em linhas gerais, os processos envolvidos na formação dos metabólitos secundários nos vegetais superiores.





**Figura 1.** Esquema geral da produção de MS pelos vegetais superiores (IPP, Isopentenil difosfato; DMAPP, Dimetilalil difosfato; NPAAs, aminoácidos não proteicos; GAP, Gliceraldeído 3-fosfato) (WINK, 2010).

Os compostos solúveis são normalmente armazenados no vacúolo (YAZAQUI, 2005; 2006), enquanto os compostos lipofílicos são sequestrados em ductos resiníferos, lenticelas, pêlos glandulares, tricomas, tilacóides membranas e cutículas (KUTCHAN, 2005). A maior parte das substâncias são sintetizadas no citoplasma, no retículo endoplasmático e nas organelas, como os muitos alcaloides, NPAAs, saponinas, quinonas, glicosídeos, flavonoides, antocianinas, taninos, glicosinolatos e aminas. Nas lenticelas: alguns alcaloides (*Labelia*, *Papaver*, *Chelidonium*), NPAAs, glicosídeos cardíacos (*Nerium*). Nos tricomas são armazenados os monoterpenos, sesquiterpenos, quinonas; nos ductos resiníferos os terpenóides (C<sub>10</sub>, C<sub>15</sub>, C<sub>20</sub>, C<sub>30</sub>); nas células oleosas: antraquinonas e naftaquinonas (WINK, 2010).

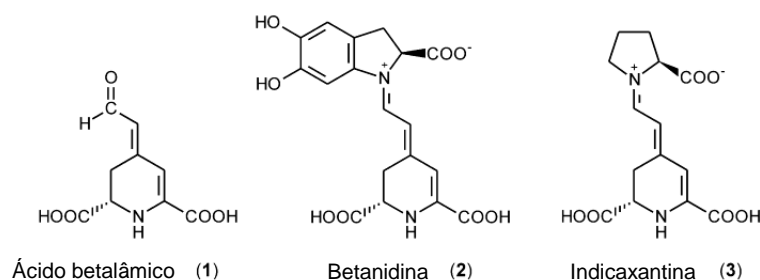
A compreensão das adaptações anatômicas, fisiológicas e ambientais em *P. pachycladus* são imperativas, especialmente por pertencer a família das Cactaceae a segunda em maior família em número de espécies do continente americano. Tais estudos são importantes para o estabelecimento de programas de uso e conservação da espécie no semiárido brasileiro.

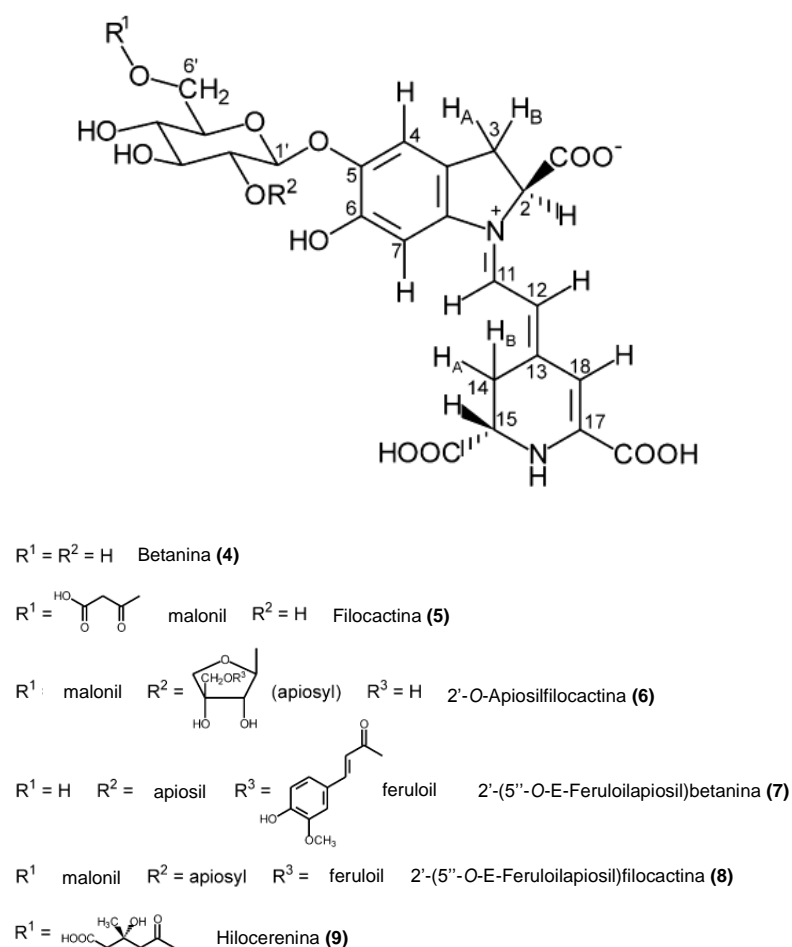
### 2.2.1.1 Biossíntese de cromomoalcaloides betaláinicos

A principal característica das betalainas é a coloração arroxeada a violácea e amarelo-alaranjada, originalmente dividida em dois grandes grupos conhecidos por betacianinas (Figura 2) e betaxantinas (Figura 2), sendo as betacianinas as de coloração avermelhada ou roxa e encontradas nas plantas na forma de betaninas, isobetaninas, probetanina e neobetanina; as betaxantinas são os pigmentos de coloração amarela-alaranjada, como a vulgaxantina, miraxantina, portulaxantina e indicaxantina.

De acordo Gandía-Herrero e García-Carmona (2013) a biossíntese de ácido betalâmico (Figura 2) começa com a hidroxilação de *L*-tirosina para *L*-DOPA (*L*-di-hidroxifenilalanina) através da atividade monofenolase da enzima tirosinase (ou polifenolxidase). Para a formação do ácido betalâmico é necessária acumulação de *L*-DOPA, que por sua vez é necessária a parar a oxidação da *L*-DOPA para *o*-quinona-DOPA realizada pela atividade da diphenolase. Neste processo o ponto importante a presença de um antioxidante, o ácido ascórbico. O passo seguinte é a *L*-DOPA ser um substrato para o 4,5-DOPA-extradiol-dioxigenase, a qual catalisa a clivagem do extradiol de *L*-DOPA para formar o intermediário 4,5-*seco*-DOPA.

O ácido betalâmico é derivado de 4,5-*seco*-DOPA por condensação intramolecular espontânea entre o grupo amina presente na *L*-DOPA e o grupo aldeído produzido enzimaticamente (GANDÍA-HERRERO e GARCÍA-CARMONA, 2013).





**Figura 2.** Esquema geral da produção de betalínas e suas ligações para a formação de outros tipos derivados do ácido betalâmico (STRACK et al., 2003)

As betaxantinas (Tabela 1) são obtidas pela condensação de ácido betalâmico com aminas e aminoácidos, onde a reação ocorre espontaneamente entre o grupo amina e o grupo aldeído em ligação com o ácido betalâmico (GANDÍA-HERRERO e GARCÍA-CARMONA, 2013). As betacianinas (Tabela 2) são formadas através da condensação de derivados de *L*-DOPA e na ausência de um agente redutor é transformado por tirosinase para *o*-quinona-DOPA utilizando oxigênio molecular (GANDÍA-HERRERO e GARCÍA-CARMONA, 2013). O processo é continuado pelo ataque do grupo amina de *O*-DOPA-quinona no anel e levando a ciclização espontânea que forma a molécula *leuko*-DOPA-cromo (ciclo-DOPA). A rota alternativa é a conversão de *L*-DOPA em *ciclo*-DOPA que pode ser realizada pela citocromo P450 (GANDÍA-HERRERO e GARCÍA-CARMONA, 2013).

**Tabela 1.** Ocorrência natural de betaxantinas identificadas em vegetais superiores

Nome trivial	Grupo amina	Fonte	Referência
Indicaxantina	Prolina	<i>Opuntia ficus-indica</i>	Piattelli et al. (1964)
Vulgaxantina I	Glutamina	<i>Beta vulgaris</i>	Piattelli et al. (1965)
Vulgaxantina II	Ácido glutâmico	<i>B. vulgaris</i>	Piattelli et al. (1965)
Miraxantina I	Sulfóxido de metionina	<i>Mirabilis jalapa</i>	Piattelli et al. (1965)
Miraxantina II	Ácido aspártico	<i>M. jalapa</i>	Piattelli et al. (1965)
Miraxantina III	Tiramina	<i>M. jalapa</i>	Piattelli et al. (1965)
Miraxantina V	Dopamina	<i>M. jalapa</i>	Piattelli et al. (1965)
Portulacaxantina	Hidroxiprolina	<i>Portulaca gradiflora</i>	Piattelli et al. (1965)
Dopaxantina	Dihydroxifenilalanina	<i>Glottiphyllum longum</i>	Impellizzeri et al. (1973)
Humilixantina	5-Hidroxinorvalina	<i>Rivina humilis</i>	Strack et al. (1987)
Portulacaxantina II	Tirosina	<i>P. grandiflora</i>	Trezzini and Zry (1991)
Portulacaxantina III	Glicina	<i>P. grandiflora</i>	Trezzini and Zry (1991)
Vulgaxantina III	Asparagina	<i>B. vulgaris</i>	Hempel e Böhm(1997)
Vulgaxantina IV	Leucina	<i>B. vulgaris</i>	Hempel e Böhm(1997)
Muscaaurin VII	Histidina	<i>B. vulgaris</i>	Hempel e Böhm(1997)
-	Triptopano	<i>Celosia argentea</i>	Schliemann et al. (2001)
-	3-Methoxitiramina	<i>C. argentea</i>	Schliemann et al. (2001)
-	$\gamma$ -aminobutiric acid	<i>B. vulgaris, O. ficus-indica</i>	Stintzing et al. (2002)
-	Serina	<i>B. vulgaris, O. ficus-indica</i>	Stintzing et al. (2002)
-	Valina	<i>B. vulgaris, O. ficus-indica</i>	Stintzing et al. (2002)
-	Isoleucina	<i>B. vulgaris, O. ficus-indica</i>	Stintzing et al. (2002)
-	Fenilalanina	<i>B. vulgaris, O. ficus-indica</i>	Stintzing et al. (2002)
-	Alanina	<i>B. vulgaris</i>	Kugler et al. (2004)
-	Histamina	<i>B. vulgaris</i>	Kugler et al. (2004)
-	Metionina	<i>O. ficus-indica</i>	Stintzing et al. (2005)
-	Arginina	<i>Gomphrea globosa</i>	Kugler et al. (2007)
-	Putrescina	<i>Bougainvillea</i> sp.	Kugler et al. (2007)
-	Lisina	<i>Bougainvillea</i> sp.	Kugler et al. (2007)
-	Etanolamina	<i>B. vulgaris</i>	Kugler et al. (2007)
-	Treonina	<i>B. vulgaris</i>	Kugler et al. (2007)
-	Fenetillamina	<i>O. ficus-indica</i>	Castellanos-Santiago and Yahia (2008)

Fonte: Gandía-Herrero and García-Carmona (2013)

De acordo com Gandía-Herrero e García-Carmona (2013) as betanidinas (Tabela 2) podem ser transformadas em betaninas pela enzima betanidina-5-*O*-glucosiltransferase, onde incorpora um resíduo de glicose para o grupo hidroxila na posição cinco e esta reação pode ser reversível, devido a atividade de  $\beta$ -glicosidase.

**Tabela 2.** Betacianinas identificadas em cactáceas

Nome trivial	$\lambda_{\text{max}}[\text{nm}]$	Cactácea	Referência
Betanidina 5- <i>O</i> - $\beta$ -soforosida	536	<i>Hylocereus polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
Isobetanidina 5- <i>O</i> - $\beta$ - glucosida (betanidina)	536	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
Isobetanidina 5- <i>O</i> - $\beta$ -glucosida (isobetanina)	536	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
2'- <i>O</i> -Apoiosil-betanina	536	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
Betanidina 6'- <i>O</i> -malonil-5- <i>O</i> - $\beta$ - soforosida	534	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
2'- <i>O</i> -Apiosil-isobetanina	536	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
Isobetanidina 6'- <i>O</i> -malonil-5- <i>O</i> - $\beta$ - soforosida	534	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
6'-Malonil-betanina (phyllocactin)	535	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
4'- <i>O</i> -Malonil-betanina	535	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
6'- <i>O</i> -Malonil-isobetanina (isofilocactina)	535	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
6'- <i>O</i> -(3"-hidroxi-3"-metil-glutaril)-betanina (hilocerenina)	535	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
2'- <i>O</i> -Apiosil-filocactina	534	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
4'-Malonil-isobetanina	535	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
4'- <i>O</i> -(3"-Hidroxi-3"-metil-glutaril)-betanina	535	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
6'- <i>O</i> -(3"Hidroxi-3"-metil-glutaril)-isobetanina (isohilocerenina)	535	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
2'- <i>O</i> -apiosil-isofilocactina	535	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
4"- <i>O</i> -(3"-Hidroxil-3"-methil-3"-glutaril)-isobetanina	535	<i>H. polyrhizus</i>	Wybraniec et al., 2009.
Betanidina 5- <i>O</i> - $\beta$ -soforosida	535	<i>Opuntia</i> spp.	Castallanos-Santiago e Yahia, 2008.
Betanina	538	<i>Opuntia</i> spp.	Castallanos-Santiago e Yahia, 2008.
Iso-betanina	538	<i>Opuntia</i> spp.	Castallanos-Santiago e Yahia, 2008.
Betanidina	539	<i>Opuntia</i> spp.	Castallanos-Santiago e Yahia, 2008.
Gomfrenina I	539	<i>Opuntia</i> spp.	Castallanos-Santiago e Yahia, 2008.
Neo-betanina	480	<i>Opuntia</i> spp.	Castallanos-Santiago e Yahia, 2008.
Isobetanina	537	<i>Mammillaria</i> spp.	Wybraniec e Nowwak-Wydra, 2007.
Betanidina 5- <i>O</i> -(6'- <i>O</i> -malonol)- $\beta$ - sophoroside	539	<i>Mammillaria</i> spp.	Nowwak-Wydra, 2007.
Isobetanidin 5- <i>O</i> -malonyl)- $\beta$ - soforosida	538	<i>Mammillaria</i> spp.	Nowwak-Wydra, 2007.
Filocactina	538	<i>Mammillaria</i> spp.	Nowwak-Wydra, 2007.
Isobetanidina 5- <i>O</i> -(4'- <i>O</i> -malonil)- sophoroside	539	<i>Mammillaria</i> spp.	Nowwak-Wydra, 2007.
4'- <i>O</i> -malonil-isobetanina	538	<i>Mammillaria</i> spp.	Nowwak-Wydra, 2007.

A via de biossíntese de betaláínas conta com duas oxidases que dependem de oxigênio molecular para a catálise: a tirosinase e DOPA-4,5-extradiol-dioxigenase; a outra é uma unidade estrutural de betacianinas para a transferência de resíduo de açúcar: betanidina-glucosiltransferase. A enzima 4,5-DOPA-extradiol-dioxigenase catalisa a transformação da *L*-DOPA a 4,5-seco-DOPA, que produz ácido betalâmico espontaneamente, a unidade estrutural

e cromatográfica das betalaínas. A tirosinase fornece a ciclização do produto dopaxina-quinona para betanidina. As betanidinas glucosiltransferases catalisam a transferência de porções de açúcar para receptores específicos como compostos ambientais tóxicos, hormônios e pigmentos (GANDÍA-HERRERO e GARCÍA-CARMONA, 2013).

Em cactáceas cultivadas, sobretudo as do gênero *Opuntia*, as betalaínas vem sendo estudadas como fonte promissora de compostos antioxidantes e corantes naturais (STINTZING et al. (2002); WYBRANIEC et al. (2007); CASTELLANOS-SANTIAGO et al. (2008); JERZ et al. (2008); WYBRANEC et al. (2009); GANDÍA-HERRERO E GARCÍA-CARMONA (2013)). Muitos desses compostos são alvos de estudos devido aos seus efeitos benéficos em organismos vivos por expressarem potencial antioxidante, evitando assim o estresse oxidativo causado pelo metabolismo celular, sobretudo por peroxidades e espécies reativas de oxigênio (ROS).

### **3 CONSIDERAÇÕES FINAIS**

A condicionante ambiental é preponderante nas respostas das cactáceas ao meio, assim sendo os processos regulatórios nesta família não ocorrem por um sistema de defesa como no reino Metazoa, mas por meio de um conjunto de modificações anatômicas, morfológicas e fisiológicas, o que neste último é caracterizado pela produção de metabólitos secundários que os conferem adaptabilidade ao clima semiárido.

Recentemente tem se observado vários estudos no campo da metabolômica, sobretudo no isolamento e quantificação, caracterização e ensaios biológicos. A compreensão desses compostos desponta como uma nova vertente para ciência moderna na prevenção e tratamento de doenças, notadamente as relacionadas ao cancer. Assim, tornam-se importantes esses caminhos investigados, sobretudo em regiões ainda “desconhecidas” como a caatinga brasileira.

As perspectivas de utilização dos recursos vegetais da caatinga traduzem-se na sua potencialidade de serem incluídos na dieta como produtos funcionais e nos tratamentos preventivos de doenças. Assim, deve-se levar em conta a possibilidade de cultivo dessas espécies como lavoura por meio de programas de uso e conservação. O cultivo destas plantas com o objetivo de produção de novos fitofármacos seria uma alternativa para as populações locais como fonte de renda.

#### 4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, E. F. **The cactus family**. Timbre Press. Portland, Oregon, 2001. 777 p.

ANDRADE, A. P.; SOUZA, E. S.; SILVA, D. S.; SILVA, I. F.; LIMA, J. R. S. Produção animal no bioma caatinga: Paradigmas dos “pulsos-reservas”. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43. Anais dos Simpósios. Suplemento especial da **Revista Brasileira de Zootecnia**. v. 35. 2006.

ARAÚJO, E. L.; FERRAZ, E. M. N. Processos ecológicos mantenedores da diversidade vegetal na caatinga: estado atual do conhecimento. In: V. Claudino-Sales (ed.). **Ecossistemas brasileiros: manejo e conservação**. Fortaleza, Expressão Gráfica e Editora. p. 115-128. 2003.

ARAÚJO, L. V. C. **Composição florística, fitossociologia e influência dos solos na estrutura da vegetação em uma área de caatinga no semi-árido paraibano**. 118 f. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2007.

ARRUDA, L. V. **Caracterização de ambientes agrícolas e dos principais solos do município de Guarabira-PB**. 2008. 105f. (Tese de Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2008.

BARBOSA, A. S. **Estrutura da vegetação e distribuição espacial de Cactaceae em áreas de caatinga do semiárido paraibano** 2011. 166f. (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2011.

BARROSO, G. M.; PEIXOTO, A. L. ICHASO, C. L. F.; GUIMARÃES, E. F.; COSTA, C. G. **Sistemática de angiospermas do Brasil**. 2 ed. Viçosa-MG, 2002. 309 p.

BARTHLOTT, W.; D. R. HUNT. **Cactaceae**. Pages 161-196 in The Families and Genera of Vascular Plants. v. 2. K. Kubitzki (ed.). Berlin, Springer-Verlag. 1993.



CASAS, A., OTERO-ARNAIZ, A., PÉREZ-NEGRÓN, E., VALIENTE-BANUET, A., In situ Management and domestication of plants in Mesoamerica. **Annals of Botany** 100, 1101 and 1115. 2007.

CASTELLANOS-SANTIAGO, E. YAHIA, E.M. Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 56, 5758–5764. 2008.

CASTRO, J. P. **Números cromossômicos em espécies de Cactaceae ocorrentes no nordeste do Brasil**. 2008. 72f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Universidade Federal da Paraíba - Centro de Ciências Agrárias, Areia, 2008.

CHAVEZ-SANTOSCOY, R. A.; GUTIERREZ-URIBE, J. A.; SERNA-SALDIVAR, S. O. Phenolic compositio, antioxidant capacity and *in vitro* cell cancer cytotoxicity of nine prickly pear (*Opuntia* spp.) juices. **Plant Foods for Human Nutrition**, v.64, p. 146–152, 2009.

CLARK-TAPIA, R.; CORRADO, C.A.; EGUIARTE, L.E., MOLINA-FREANER, F., 2005. Clonal diversity and distribution in *Stenocereus eruca*, a narrow endemic cactus of the Sonoran desert. **American Journal of Botany** 92, 272 and 278.

CRUSE, R. R. Desert plant chemurgy: a current review. **Economic Botany**, v. 27, p.210-230, 1973.

DAVET, A.; VIRTUOSO, S.; DIAS, J. F. G.; MIGUEL, D. M.; OLIVEIRA, A. B.; MIGUEL, O. G. Atividade antibacteriana de *Cereus jamacaru* DC, Cactaceae. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v.19, n. 2, João Pessoa-PB, Abr./Jun. 2009.

DETTKE, G. A.; GUTIERRE, M. A. M. Anatomia caulinar de Cactaceae subfamília Cactoideae. **Revista Hoehnea**, v. 35, n. 4, p. 583-595, 2008.

DUARTE, M.R.; HAYASHI, S.S. Estudo anatômico de *Pereskia aculeata* Mill. (Cactaceae). **Revista Brasileira de Farmacognosia**. v. 15, n.2, João Pessoa-PB, p.103-109, Abr./Jun. 2005.

EDWARDS, E. J.; NYFFELER, R.; DONOGHUE, M. J. Basal Cactus Phylogeny: Implications of *Pereskia* (Cactaceae) Paraphyly for the Transition to the Cactus Life Form. **American Journal of Botany** v. 92, n. 7, p. 1177–1188. 2005.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. Disponível em: <<http://www.fao.org/home/en/>>. Acessado em: 20 de outubro de 2014.

GARCÍA-HERRERO, F.; GARCÍA-CARMONA, F. Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. **Trends in Plant Science** June 2013, Vol. 18, No. 6.

HAMRICK, J. L.; GODT, M. J. W. Allozyme diversity in plant species. In: Brown, A.H., Clegg, M.T., Kahler, A.L., Weir, B.S. (Eds.), **Population Genetics, Breeding and Genetics Resources**. Sinauer, Sunderland, Massachusetts, USA, pp. 43 and 63. 1989.

HAMRICK, J. L.; LINHART, Y. B.; MITTON, J. B. Relationships between life history characteristics and electrophoretically detectable genetic variation in plants. **Annual Review of Ecology and Systematics** 10, 173 and 200. 1979.

HEMPEL, J.; BÖHM, H. Betaxanthin pattern of hairy roots from *Beta vulgaris* var. *lutea* and its alteration by feeding of amino acids. **Phytochemistry** 44, 847–852, 1997.

HERSHKOVITZ, M. A., AND E. A. ZIMMER. On the evolutionary origins of the cacti. **Taxon**, v.46, p.217-232, 1997.

HUNT, D.; TAYLOR, N. P.; CHARLES, G. **The new cactus lexicon**. Milborne Port.: DH Books, v. 2. 2006.

JACOMINE, P. K. T. Solos sob caatinga: características e uso agrícola. In: ALVAREZ, V. H.; FONTES, L. E. F.; FONTES, M. P. F. **O solo nos grandes domínios morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado**. Viçosa: SBCS; UFV, DPS, p.95-133.1996.

JOLY, A. B. **Introdução a Taxonomia Vegetal**. Companhia Editora Nacional, São Paulo, 2002.

KUGLER, F.; STINTZING, F.C.; CARLE, R. Characterisation of betalain patterns of differently coloured inflorescences from *Gomphrena globosa* L. and *Bougainvillea* sp. by HPLC-DAD-ESI-MSn . **Analytical and Bioanalytical Chemistry**. 387,637–648. 2007.

KUGLER, F.; STINTZING, F.C.; CARLE, R. Identification of betalains from petioles of differently colored Swiss chard (*Beta vulgaris* L. ssp. *cicla* [L.] alef. cv. bright lights) by high-performance liquid chromatography- electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 52 2975–2981. 2004.

MOERMAN, D. E. **Native American Ethnobotany**. Portland, Oregon: Timber Press. 1998.

MOORE, M. **Medicinal Plants of the Desertand Canyon West**. Santa Fe: Museum of New Mexico Press. 1989.

MORAES, E.M.; ABREU, A.G.; ANDRADE, S.C.; SENE, F.M.; SOLFERINI, V.N. Population genetic structure of two columnar cacti with a patchy distribution in eastern Brazil. **Genetica** 125, 311 and 323. 2005.

NOY-MEIR, I. Desert ecosystems: environment and producers. **Annual Review and Systematics**, v. 4. 25-51. 1973.

NYFFELER, R. Phylogenetic relationships in the cactus family (Cactaceae) based on evidence form *trnK/matK* and *trnF* sequences. **American Journal of Botany**, n. 89, p. 312-326, 2002.

PARRA, F.; PÉREZ-NASSER, N.; LIRA, R.; PÉREZ-SALICRUP, D.; CASAS, A., Population Genetics and Process of Domestication of *Stenocereus pruinosus* (Cactaceae) in the Tehuacán Valley, México. **Journal of Arid Environments** 72, 1997 and 2010. 2008.

PIATTELLI, M.; MINALE, L.; PROTA, G. Pigments of Centrospermae III - Betaxanthins from *Beta vulgaris* L. **Phytochemistry** 4, 121–125, 1965.

PIATTELLI, M.; MINALE, L.; NICOLAUS, R. A. Betaxanthins from *Mirabilis jalapa* L. **Phytochemistry** 4, 817–823, 1965.

PIATTELLI, M.; MINALE, L.; NICOLAUS, R.A. Ulteriori ricerche sulle betaxantine. **Reale Accademia delle Scienze Fisiche e Matematiche**, 32, 55–56, 1965.

SAJEVA, M.; J. D. MAUSETH. Leaf-like structure in the photosynthetic, succulent stems of cacti. **Annals of Botany** 68:405-411. 1999.

RIBEIRO, E. M. S. **Influência de perturbações antrópicas sobre populações de cactáceas em áreas de caatinga**. 55f. Dissertação de Mestrado (Biologia Vegetal) Universidade Federal de Pernambuco. 2011.

SCHLIEMANN, W.; KOBAYASHI, N.; STRACK, D. The decisive step in betaxanthin biosynthesis is a spontaneous reaction. **Plant Physiology**. 119, 1217–1232. 1999.

SCHLIEMANN, W.; STEINER, U.; STRACK, D. Betanidin formation from dihydroxyphenylalanine in a model assay system. **Phytochemistry** 49, 1593–1598, 1998.

SILVA, J. G. M.; SILVA, D. S.; FERREIRA, M. A.; LIMA, G. F. C.; MELO, A. A. S.; DINIZ, M. C. N. M. Xiquexique (*Pilosocereus gounellei* (A. Weber ex K. Schum.) Bly. Ex Rowl.) em substituição à silagem de sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) na alimentação de vacas leiteiras. **Revista Brasileira de Zootecnia**, v.34, n.4, p.1408-1417, 2005.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira**. Nova Odessa, SP.: Instituto Plantarum, 2005. 639 p.

STINTZING, F.C.; HERBACH K. M.; MOSSHAMMER, M. R.; CARLE, R.; YI, W.; SELLAPPAN, S.; AKOH, C. C.; BUNCH, R.; FELKER, P. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53, 442–451, 2005.

STINTZING, F. C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Identification of Betalains from Yellow Beet (*Beta vulgaris* L.) and Cactus Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] by High-Performance Liquid Chromatography–Electrospray Ionization Mass Spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2002, 50, 2302–2307.

STINTZING, F.C., SCHIEBER, A., CARLE, R. Betacyanins in fruits from red-purple pitaya, *Hylocereus polyrhizus* (Weber) Britton & Rose. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 77, 101–106. 2002a

STINTZING, F.C., SCHIEBER, A., CARLE, R., Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50, 2302–2307. 2002b.

STRACK, D.; VOGT, T.; SCHLIEMANN, W. Recent advances in betalain research. **Phytochemistry**, 62, 247–269. 2003.

TAYLOR, N. P.; ZAPPI, D. C. **Cacti of eastern Brazil**. Richmond, UK: the Royal Botanic Gardens, Kew, 499 p. 2004.

TESORIERE, L.; BUTERA, D.; PINTAUDI, A. M.; ALLEGRA, M.; LIVREA, M.A. Supplementation with cactus pear (*Opuntia ficus-indica*) reduces oxidative stress in

healthy humans: a comparative study with vitamin C1–3. **The American Journal of Clinical Nutrition**, v. 80, p. 391–395, 2004.

TREZZINI, G. F.; ZRYD, J. P. Characterization of some natural and semi-synthetic Betaxanthins. **Phytochemistry**, Vol. 30. No. 6, pp. 190-1903, 1991.

WINK, M. **Biochemistry of Plant Secondary Metabolism**. Annual Plant Reviews Volume 40. 2. Ed. Wiley-Blackwell, 2010. 481 p.

WYBRANIEC, S., NOWAK-WYDRA, B. Mammillarinin: A New Malonylated Betacyanin from Fruits of Mammillaria. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Vol. 55, No. 20, 2007.

WYBRANIEC, S., PLATZNER, I., GERESH, S., GOTTLIEB, H.E., HAIMBERG, M MOGILNITZKI, M., MIZRAHI, Y., 2001. Betacyanins from vine cactus *Hylocereus polyrhizus*. **Phytochemistry** 58, 1209–1212.

WYBRANIEC, S.; STALIC, P.; JERZ, G.; KLOSE, B.; GEBERS, N.; WINTERHALTER, P.; SPÓRNA, A.; SZALENIEC, M.; MIZRAHI, Y. Separation of polar betalain pigments from cacti fruits of *Hylocereus polyrhizus* by ion-pair high-speed countercurrent chromatography. **Journal of Chromatography A**, 1216 (2009) 6890–6899. 2009.

ZAPPI, D. C. *Pilosocereus* (Cactaceae). The genus in Brazil. **Succulent Plant Research** 3. 1994.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N. Diversidade e endemismo das Cactaceae na cadeia do Espinhaço. **Revista Megadiversidade**, v. 4 nº1-2, 2008.

## **CAPÍTULO II:**

**CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E ATRIBUTOS DE SOLOS EM  
ÁREAS DE DOMÍNIO DE *Pilosocereus cattingicola* (GÜRKE) BYLES &  
ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

## CAPÍTULO II:

### **CARACTERIZAÇÃO CLIMÁTICA E ATRIBUTOS SOLOS EM ÁREAS DE DOMÍNIO DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

#### **RESUMO**

A caatinga vem sofrendo influência predominante das alterações climáticas. A variabilidade hídrica anual é espacial e temporalmente elevada e a retenção de águas no solo é baixa, como resultado o crescimento vegetal é altamente dinâmico em face às características ambientais. Neste contexto, torna-se importante o conhecimento do ambiente edáfico para subsidiar ações conservacionistas para as espécies nativas da região. O objetivo do estudo foi analisar os indicadores climáticos e os atributos físicos e químicos de solos de ocorrência de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (Cactaceae) em áreas de caatinga do Estado da Paraíba. Foram plotadas 100 parcelas, distribuídas nas áreas de vegetação natural dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os dados pluviométricos foram adquiridos na Agência Executiva de Águas da Paraíba (AESAP) durante os anos de 2004-2014 e os dados de temperatura e umidade relativa do ar por meio de consulta ao Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) pelo mesmo período e a modelagem climática foi realizada pelos índices de Lang, Meyer e ONU. As amostras simples de solo foram coletadas na diagonal de cada parcela e depois homogeneizadas para formar amostras compostas (4 amostras compostas de 0-20cm e 4 amostras compostas de 20-40cm) para cada área de caatinga. Estas foram etiquetadas e encaminhadas para análise no Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, onde foram determinados os atributos físicos e químicos de solo. A área de Areial destacou-se por apresentar maior precipitação pluvial durante o período avaliado (679,7mm) e Arara a umidade relativa do ar (83,2%). As temperaturas médias anuais não ultrapassaram os 24°C. A menor precipitação pluvial foi observada no município de Boa Vista, PB (443,9mm), seguida da área de Areial 679,7 mm e Arara 666,1 mm anuais. Em Arara a umidade relativa do ar apresentou-se maior dentro o período de estudo (83,2%). Pelo modelo da ONU, o clima de Arara e Areial é classificado como subúmido-úmido seco e Boa Vista semiárido. Nas áreas, a textura do solo predominante é a da fração areia, seguida de silte e com menor teor a de argila. O Teor de fósforo é baixo, porém o teor de cálcio é maior na área de Boa Vista e o de alumínio em Arara, PB. Os solos das três áreas apresentam alta capacidade de troca catiônica e, são eutróficos. As caatingas avaliadas são distintas em termos de características físicas e químicas de solo o que qualifica aos espécimes de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* plasticidade adaptativa a estes ambientes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Caatinga, Facheiro, habitat



## CHAPTER II:

### CLIMATE CHARACTERIZATION AND SOIL ATTRIBUTES IN AREAS OF DOMAIN OF *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

#### ABSTRACT

The *caatinga* has been suffering predominant influence of climate change. The annual hidric variability is high in spatial and temporal and the soil water retention capacity is low, as a result of highly dynamic growth plans in the face of environmental characteristics. In this context, it is important to know the soil environment to support conservation actions for the species in the region. The objective of the study was to analyze the climatic indicators and the physical and chemical properties of soil with occurrence of *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (Cactaceae) in *caatinga* areas of the State of Paraíba. Were plotted 100 plots distributed in the areas of natural vegetation in the municipalities of Arara, Areial and Boa Vista, PB. The rainfall data were acquired in the *Agência Executiva de Águas da Paraíba (AESPA)* during the years 2004-2014 and the temperature and relative humidity through consultation with the *Banco de Dados Metrológicos (BDMEP)*, from *Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)* for the same period and the climate modeling was performed by Lang, Meyer and UN indexes. The single soil samples were collected at an angle of each portion and then homogenized to form composite samples (4 composite samples of 0-20 cm and 4 composite samples of 20-40cm) for each *caatinga* area. These were labeled and sent for analysis in *Laboratório de Irrigação e Salinidade* from *Universidade Federal de Campina Grande*, where it was determined the physical and chemical properties of soil. The Areial area characterized by having high rainfall during the study period (679,7mm) and Arara the relative humidity (83.2%). Average temperatures did not exceed 24°C. The lowest rainfall was observed in Boa Vista, PB (443,9mm), then the area of Areial 679.7 and Arara 666.1 mm annual. In Arara the relative humidity was higher among the study period (83.2%). According UN model, the climate of Arara and Areial is classified as dry sub-humid and Boa Vista semiarid. In areas, the predominant soil texture is the sand fraction, followed by silt and less content of clay. The phosphorus content is low in the area, but the calcium content is higher in Boa Vista and the aluminum in Arara, PB. The soils of the three areas have high cation exchange capacity and are eutrophic. The *caatingas* are different in terms of physical and chemical characteristics of soil what qualifies specimens of *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* adaptive plasticity to these environments.

**KEYWORDS:** Caatinga, Facheiro, habitat

## 1 INTRODUÇÃO

As formações vegetacionais são resultantes de um conjunto de interações entre os fatores bióticos e abióticos nos ecossistemas. O componente abiótico é altamente variável em diversas escalas devido a regimes climáticos e tipos de solo, o que impõe variabilidade espacial na estrutura e processos ambientais (LOPES et al., 2003).

Neste sentido, as formações de caatinga apresentam crescimento e desenvolvimento heterogêneo, fato esse associado às características edafoclimáticas da região onde durante a estação seca, parte da vegetação passa por um processo de abscisão foliar, fenômeno conhecido por caducifolia, entretanto, nas primeiras precipitações pluviais a vegetação repõe sua massa foliar, agindo oportunamente em meio as infrequentes entradas hídricas. Essa dinâmica dos ecossistemas áridos e semiáridos é regida pela teoria dos “*pulsos-reserva*” (NOY-MEIR, 1973) onde a água assume a função de “*starter*” ou assume papel de hidrorregulação no desencadeamento das atividades metabólicas vegetais. Uma vez estimuladas, elas se desenvolvem e transformam os nutrientes em produção primária e consequentemente síntese de produtos naturais secundários.

A variabilidade hídrica na caatinga no tempo e no espaço origina-se de quatro causas principais: (i) sistema muito complexo da formação das chuvas, com frentes que vêm de vários quadrantes e que vão perdendo sua força à medida que penetram no núcleo do semiárido, resultando em chuvas erráticas e concentradas em poucos meses do ano e em anos chuvosos alternados irregularmente com anos de secas; (ii) disposição orográfica, com serras e chapadas mais altas interceptando as frentes mais úmidas, recebendo mais chuvas que o entorno e criando zonas pouco chuvosas a sotavento; (iii) escoamento das águas, deixando as encostas mais secas e concentrando-se nos vales, formando lagoas e rios, na maioria das vezes temporários, mas onde a disponibilidade hídrica estende-se por semanas e até meses depois que as chuvas cessam; e (iv) variabilidade dos solos, com maior ou menor capacidade de reter as águas das chuvas, por conta de diferentes profundidades e texturas (GARIGLIO et al., 2010).

Atualmente há um consenso de que essas variações ecofisiológicas das plantas dependem de interações complexas entre a umidade do solo, nutrientes disponíveis, tipo de cobertura do solo e temperatura, quando combinados resultam em diferentes respostas de cada organismo às condições ambientais, dessas podendo atuar sobre as populações de cactáceas nativas, determinado áreas específicas de seu domínio (BARBOSA, 2011).

A caatinga, como parte central da paisagem, sofre influência preponderante das variações climáticas, uma vez que a variação espacial e temporal das chuvas ao longo do ano é alta e a capacidade de retenção de água dos solos é baixa resultando em plantas altamente dinâmicas a essas variações. Desse modo, se faz necessário o conhecimento dos indicadores edáficos para entendimento do comportamento das modificações ecológicas, permitindo então as correlações entre as mesmas, adentrando o novo ecossistema o que pode quantificar e orientar de forma ordenada a recuperação dos recursos naturais regionais (TEROSSI et al., s.d.).

Neste contexto, as cactáceas constituem num grupo de plantas altamente adaptadas, entretanto com sensibilidade às alterações no seu meio, uma vez que possuem longos ciclos de vida, baixa taxa de crescimento individual, distribuição geográfica restrita, como também a dependência de outros organismos na sua fase reprodutiva (GODNEZ–ALVAREZ; ORTEGA–BAES, 2006), não obstante, podem ser ameaçadas pelo comércio internacional não legalizado, coleta ilegal e principalmente na modificação de seu habitat.

O facheiro é uma cactácea pertencente ao gênero *Pilosocereus* [Byles & Rowley] encontrado no México e na América do Sul, agrupado na subfamília *Catoideae*, tribo *Cereeae*. Esse gênero compreende 36 espécies neotropicais, com maior ocorrência no Brasil com aproximadamente 26 espécies, distribuídas na caatinga, em rochas e dunas, em afloramentos rochosos, nas florestas de espinho, agrestes e nos campos rupestres do Planalto Brasileiro (ZAPPI, 1994). Segundo Zappi e Taylor (2008) de 160 espécies de cactáceas ocorrentes em nosso país, 42 espécies, representando 26% da família, ocorrem nos campos rupestres, ao passo que 31% estão distribuídas na caatinga.

As cactáceas nativas, sobretudo a espécie de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi, necessitam de estudos que possam demonstrar os padrões de dispersão, as relações com o ambiente em que vivem, sobretudo na capacidade de adaptação, resiliência aos ambientes antropizados e por se tratarem de um recurso fitogenético nativo de importância para os nichos ecológicos dos fragmentos de caatinga remanescentes. Neste sentido, o conhecimento dos descritores edafoclimáticos é necessário para entender o comportamento das transformações ecológicas, bem como, permitir inferências sobre a caracterização de ambientes de ocorrência dessas populações.

O objetivo do estudo foi analisar os indicadores climáticos e atributos físicos e químicos de solos de caatingas antropizadas com ocorrência natural de *Pilosocereus catingicola* (subsp. *salvadorensis* no Agreste da Paraíba, Brasil.

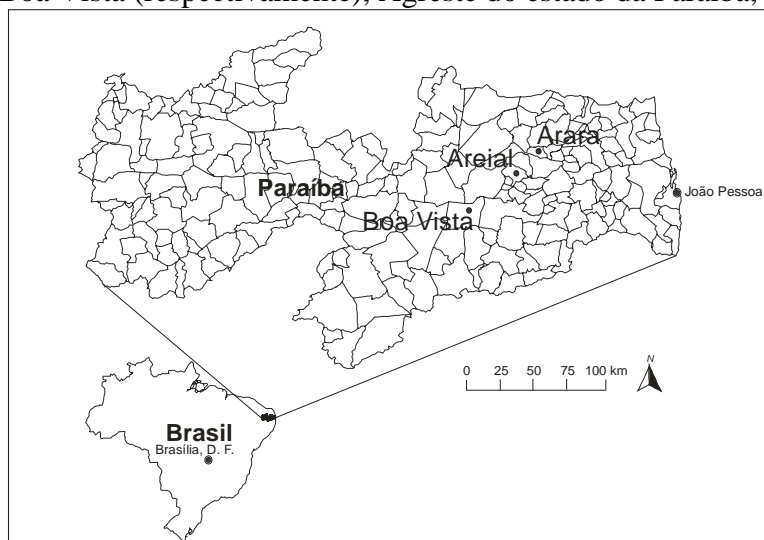
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Áreas de Domínio

Os fragmentos florestais de caatinga amostrados pertencem aos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB (Figuras 1 e 2), localizados na mesorregião do Agreste da Paraíba. As três áreas foram escolhidas tendo por base a elevada densidade de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* ao longo da paisagem, sendo cada uma distinta em termos de uso e conservação.



**Figura 1.** Áreas de ocorrência de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga de Arara, Areial e Boa Vista (respectivamente), Agreste do estado da Paraíba, Brasil



**Figura 2.** Localização geográfica das áreas de domínio de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil

O município de Arara está localizado na mesorregião do Agreste paraibano, com altitude aproximada de 467 metros, inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema formada por maciços e outeiros altos, com fertilidade do solo variada entre média

e alta. A vegetação é formada pela caatinga com espécies subcaducifólica e caducifólica, tipicamente dos agrestes da Paraíba, com clima do tropical chuvoso e verão seco, a precipitação pluvial média anual de 666.13 mm (INMET, 2014). Essa região de caatinga apresenta-se com características sucessionais em nível intermediário, contudo ainda com presença de corte seletivo de madeira e pastejo do gado bovino sazonal durante a estação seca. São encontradas também aberturas ao longo da vegetação para tráfego de animais, veículos e pessoas.

Assim como Arara, Areial encontra-se inserido no Planalto da Borborema com formações de florestais subcaducifólica e caducifólica, clima tropical chuvoso e verão quente e seco com chuvas de janeiro a outubro, sendo a precipitação pluvial média anual de 679,7 mm. Apresenta solos ligeiramente ondulados com presença de Planossolos, fortemente drenados, moderadamente ácidos e fertilidade natural média a alta (CPRM, 2005b). A caatinga de Areial apresenta-se como uma das mais antropizadas, em virtude da fragmentação da vegetação remanescente semelhante a formação de “ilhas”. Desse advento, parte da cobertura da vegetação nativa foi retirada, em seu lugar o pasto nativo vem sendo preservado para o pastejo dos rebanhos bovino, asininos e muares.

A área de Boa Vista apresenta fertilidade do solo de média a alta, coberto por formações vegetais de caatinga onde as espécies vegetais passam pela caducifolia na estação seca, com clima tropical chuvoso e verão quente e seco. A precipitação pluvial média anual é de 443,93 mm, caracterizando como a caatinga mais xérica dentre as áreas de domínio de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis*. A superfície dos solos é suavemente ondulada com formação de planossolos medianamente profundos com fertilidade média, fortemente drenados e acidez moderada. Há presença de Podzólicos profundos de textura argilosa com fertilidade natural média. Há vales com presença de planossolos mal drenados e afloramento de rochas ao longo da paisagem (CPRM, 2005c). A caatinga de Boa Vista considera-se entre a mais conservadas, contudo, mais recentemente foi verificado a entrada do rebanho caprino para o pastejo controlado durante a estação seca.

As três áreas foram escolhidas por apresentarem características de formações florestais de caatinga em níveis de sucessão ecológica intermediária, bem como em todas elas foram registradas previamente a ocorrência natural de elevada abundância de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis*. Um outro critério importante foi a necessidade de investigar *in locus* variabilidade de atributos edáficos em diferentes áreas onde a espécie ocorre, com finalidade de subsidiar informações sobre a ecologia, uso e conservação da espécie na região.

## 2.2 Aquisição e Tabulação dos Dados Climáticos

A série histórica de dados pluviométricos foi adquirida na Agência Executiva de Águas da Paraíba (AESPA) durante os anos de 2004-2014 e os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram adquiridos por meio de consulta ao Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia pelo mesmo período. Os dados foram tabulados e processados com auxílio do programa *Microsoft Office® - Excel* 2010.

## 2.3 Cálculo do Índice de Aridez

Neste trabalho foram adotados três índices para auferir a aridez dos ambientes estudados similarmente ao trabalho de Ramalho (2008). O índice de Lang foi calculado, a partir da aplicação do modelo  $I = \frac{P}{T}$ , onde P representa a precipitação anual média e T, a temperatura média anual. Este índice varia de 0-20 (Desértico), 20-40 (Zona Árida) e 40-60 (Zona úmida de estepe e savana) (PORTA et al., 1994).

O índice de Meyer foi calculado mediante a aplicação do modelo  $I = \frac{P}{DSA}$ . O DSA é calculado a partir do modelo  $DSA = 100 - \frac{H}{100 \times T}$ , em que DSA indica o déficit de saturação absoluta, H a umidade relativa média (%) e T a tensão máxima de vapor de água correspondente à temperatura média. O índice de Meyer varia de 0-100 (aridez, desertos, estepes) e de 100-275 (Semiárido) (PORTA et al., 1994).

O índice de aridez de acordo com a Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CCD), considera Hiperárido áreas com índice ( $< 0,05$ ), Árido ( $0,05 < 0,20$ ), Semiárido ( $0,21 < 0,50$ ), Subúmido-úmido seco ( $0,51 < 0,65$ ), Subúmido e úmido ( $> 0,65$ ). Este índice foi calculado pela relação entre a precipitação pluviométrica e evapotranspiração potencial, P/ETP (SRH/MMA, 2007).

## 2.4 Coleta e Análise de Solos

O material básico para elaboração dos estudos foi a planta planimétrica das áreas e com o uso de GPS (Sistema de Posicionamento Geográfico). Foram georreferenciados os locais de abertura de trincheiras para descrição e amostragem de perfis e microtrincheiras para observações e amostragens complementares. A classificação taxonômica foi feita de acordo com o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 2006).

Para caracterização edáfica em termos de física e química, foram coletadas amostras de solo com auxílio de um trado, balde de polietileno e régua graduada. A cada coleta de 4 amostras simples de solo na profundidade de 0-20cm e na profundidade de 20-40cm foi feita a homogeneização para compor uma amostra composta. As coeltas foram feitas aleatoriamente ao longo de cada área (Figura 3) (RAMALHO, 2008; BARBOSA, 2011). Para cada profundidade foram coletadas quatro amostras compostas para cada área, totalizando-se assim 24 amostras compostas de solo as quais foram enviadas para o Laboratório de Irrigação e Salinidade da Universidade Federal de Campina Grande, em Campina Grande, PB.



**Figura 3.** Procedimentos para a coleta das amostras de solo nas áreas de Arara, Areial e Boa Vista, PB

As análises foram realizadas por meio de metodologia contidas em EMBRAPA (1997), sendo determinados os atributos físicos: Areia (g/kg), Silte (g/kg), Argila (g/kg),  $D_s$  ( $\text{g/cm}^3$ ),  $D_r$  ( $\text{g/cm}^3$ ), e Porosidade total (%), e os atributos químicos: pH (em água), Hidrogênio ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ ), Nitrogênio (%), Cálcio ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ ), Magnésio ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ ), Sódio ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ ), Potássio ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ ), Matéria orgânica (%), Carbono orgânico (%), Alumínio ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ ), Fósforo ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ ), condutividade elétrica ( $\text{dS/cm}$ ), capacidade de troca catiônica (CTC) e saturação por bases ( $\text{cmolc kg}^{-1}$ ).

## 2.4 Coleta e Análise de Solos

As variáveis físicas e químicas foram submetidas a análise de Análise de Variância Multivariada por Permutação (*Permutational Multivariate Analysis of Variance*) (ANDERSON, 2001), em que foram testadas a probabilidade da variação por obra do acaso, para tanto foram realizadas 10.000 (Dez mil) permutações de Monte Carlo com auxílio do programa PERMANOVA e os gráficos foram modelados no programa PAST (HAMMER, 2001).

A dissimilaridade entre as áreas foi calculada de acordo com o índice quantitativo de Bray-Curtis (1957), como se segue:

$$Bray = \frac{\sum_{i=1}^S |N_{i,A} - N_{i,B}|}{\sum_{i=1}^S |N_{i,A} + N_{i,B}|}$$

a = número de espécies (atributos) exclusivas de A

b = número de espécies (atributos) exclusivos de B

c = número de espécies em comum (atributos)

N<sub>i, A</sub> = abundância do atributo i na amostra A

N<sub>i, B</sub> = abundância do atributo i na amostra B



### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Indicadores Climáticos

A série histórica pluviométrica registrada na área Arara demonstrou alta variabilidade ao longo dos dez anos analisados (2004-2014) (Figura 4a). A menor precipitação pluvial registrada no período foi no ano de 2010 (368,5mm) e a maior em 2004 (1.197,7mm), a média da precipitação pluvial foi de 666,13mm ( $\pm 262,50$ ). A variação da precipitação na área em estudo é corroborada com trabalhos de Noy-Meir (1973) e Andrade et al., (2006), onde comentaram sobre às infrequentes entradas hídricas nos ambientes semiáridos, como um recurso variável no tempo e no espaço e, o início da estação chuvosa corroborado com estudos da CPRM (2005a).

As médias históricas de temperatura para a área de Arara não variam abruptamente quando comparada com a variação na precipitação pluvial. A luz é um fator pouco variável nas regiões áridas e semiáridas, não constituindo como um fator limitante para a produção vegetal (ANDRADE et al., 2006).

As temperaturas para os 10 anos variaram entre 20,5 à 23,7°C, sendo o valor médio ao longo da série histórica de 22,5° ( $\pm 1,2$ ). A radiação solar influencia as condições de temperatura, movimentação do ar e disponibilidade hídrica para as plantas (PILLAR, 1995), o que para as populações de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* exigem adaptações a essas variações espaciais e temporais do ambiente.

As médias da umidade relativa do ar, em Arara, oscilaram entre 77,1 e 89,6%. A média da umidade situou-se em 83,2% ( $\pm 4,2$ ) durante o período avaliado. De modo geral a variação anual da umidade relativa do ar acompanha a curva anual da precipitação (PILLAR, 1995).

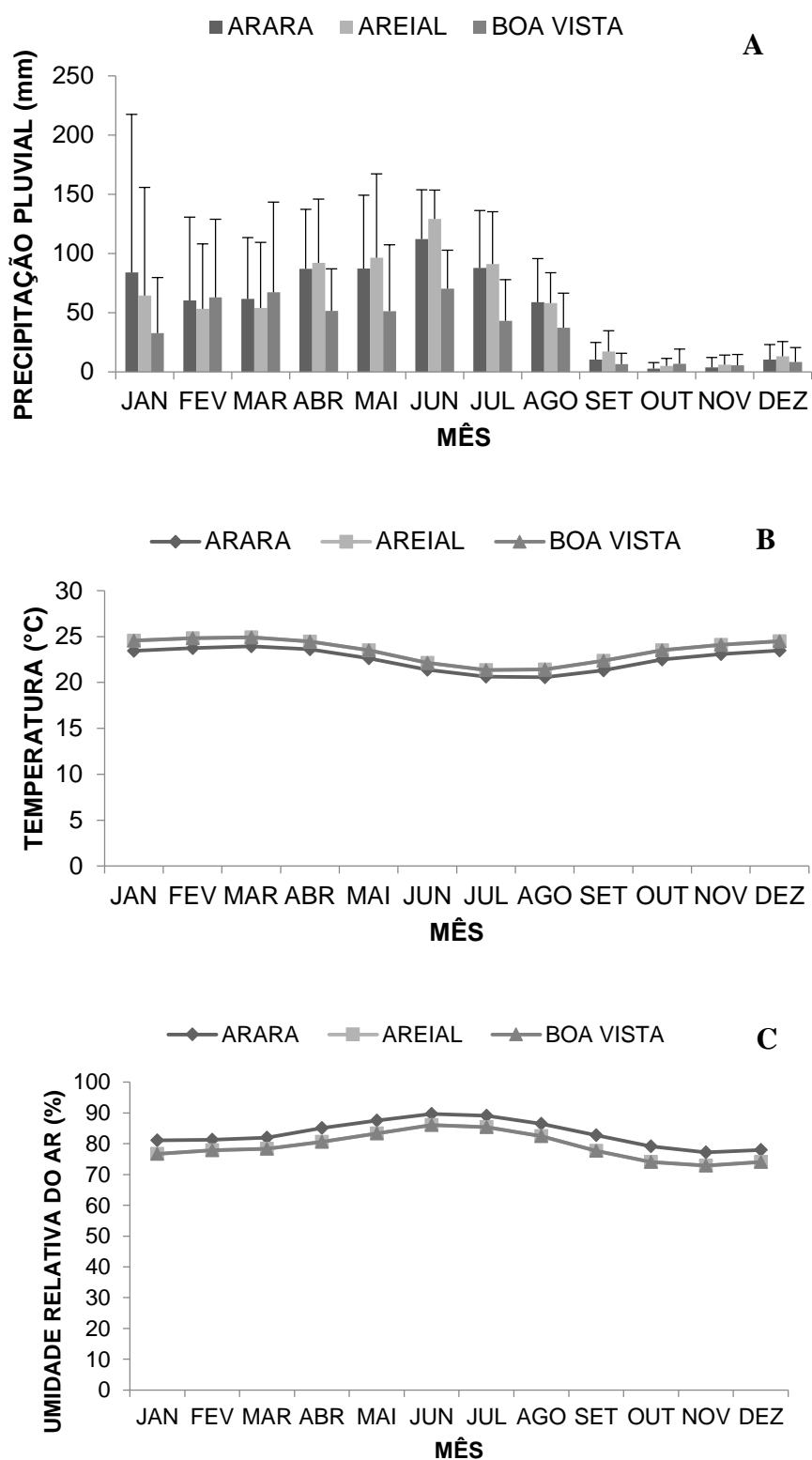
A precipitação pluvial, em Areial, durante o período estudado apresentou-se similarmente à de Arara, altamente variável interanualmente, onde no ano de 2004 foi verificada maior precipitação (1.051,9mm) e a menor precipitação em 2006 (364,6mm). A média da precipitação durante o período avaliado foi de 679,73 mm ( $\pm 40,4$ ), sendo próxima daquela proposta por CPRM (2005c), quando considerado o desvio padrão da média.

A temperatura não apresentou grandes oscilações ao longo do período em estudo, as médias estiveram situadas entre 21,3 e 24,9°C. A temperatura média no período avaliado foi de

23,4°C ( $\pm 1,3$ ). A umidade relativa do ar média oscilou preponderantemente ao longo dos dez anos amostrados, oscilando entre 72,9 a 86,0%. A média da umidade relativa do ar durante o período estudado foi de 79,1% ( $\pm 4,4$ ) (Figura 4c).

A variação na série dos dados pluviométricos para o município de Boa Vista, demonstram alta variabilidade das entradas hídricas naquele município durante o período estudado. O maior registro foi obtido no ano 2004 (675,2mm) e o menor registrado no ano de 2012 (199,6mm) (Figura 4a), a média da precipitação durante o período estudado foi de 443,9mm ( $\pm 23,7$ ), corroborando com CPRM (2005b).

A precipitação pluvial mensal registrada na série histórica (2004 a 2014) oscilou ao longo dos meses, entretanto houve uma variabilidade mensal das entradas de hídricas para as três áreas. Os menores registros de precipitação foram registrados nos meses de setembro, outubro, novembro e dezembro. Sendo esse comportamento hídrico demonstrados também nos trabalhos de Noy-Meir (1973), CPRM (2005a), CPRM (2005b), CPRM (2005c) e Andrade et al. (2006).



**Figura 4.** Distribuição mensal média da precipitação (a), temperatura (b) e umidade do ar (c), média nos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba, no período de 2004-2014 (As barras verticais representam o desvio padrão da média da precipitação pluvial ao longo dos dez anos). INMET, 2014

### 3.2 Balanço hídrico-climatológico

Observa-se na Figura 5 que há tendência simétrica entre os valores de precipitação e evapotranspiração potencial, configurando-se numa diminuição da precipitação e uma correspondente tendência de aumento da evapotranspiração potencial, e vice-versa, colaborando para o aumento no déficit hídrico nas áreas de domínio de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis*.

No tocante as elevadas taxas de evapotranspiração, são críticos para o município, os meses de janeiro, fevereiro, março, abril, agosto, setembro, outubro, novembro e dezembro quando a evapotranspiração potencial ultrapassa os 100 mm (Figura 5).

No período de 2004 a 2014, o total de chuvas observado para o município de Arara é de 666,1 mm ano<sup>-1</sup> e evapotranspiração de 1113,5 mm ano<sup>-1</sup>, apresentando déficit hídrico anual de 447,4 mm ano<sup>-1</sup>.

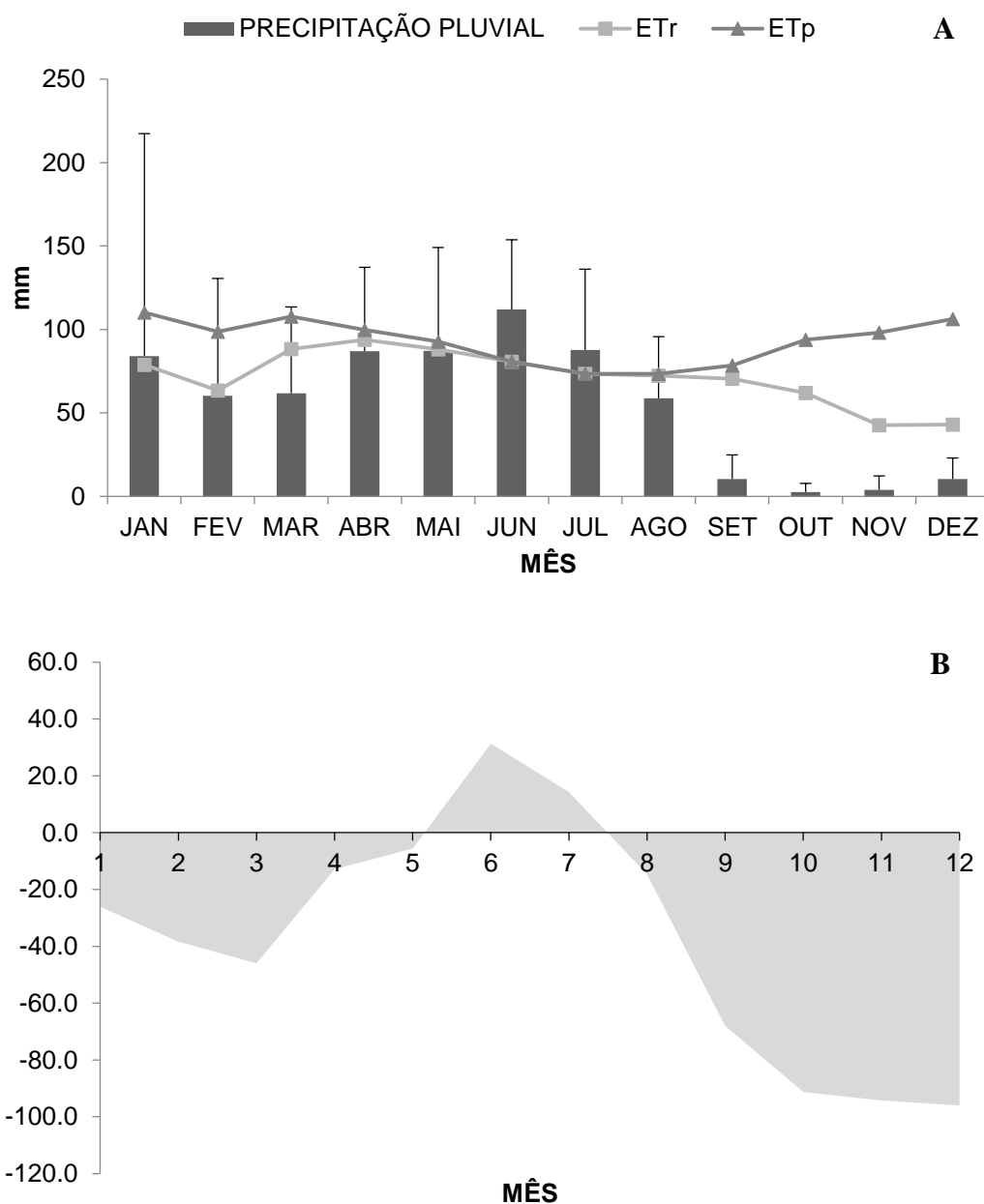
A evapotranspiração potencial média anual em Arara é de 92,8 mm ( $\pm 13,2$ ) (Figura 5). A evapotranspiração real (71,4mm;  $\pm 16,5$ ) acompanha os valores de precipitação, visto que a evapotranspiração real (*E<sub>Tr</sub>*) depende da existência de água no solo, e esta por sua vez só é suprida pela chuva, logo sua distribuição é preponderante na sua variação.

O total de chuvas para o município de Areial, nesse mesmo período foi de 679,7 mm ano<sup>-1</sup> e a evapotranspiração potencial total de 1194,7 mm ano<sup>-1</sup>, apontando para um déficit hídrico anual de 515,0 mm ano<sup>-1</sup>, sendo portanto superior a área de Arara, PB. A evapotranspiração potencial média anual em Areial é 99,5 mm ( $\pm 15,7$ ) (Figura 6). A evapotranspiração real (60,2mm,  $\pm 23,5$ ).

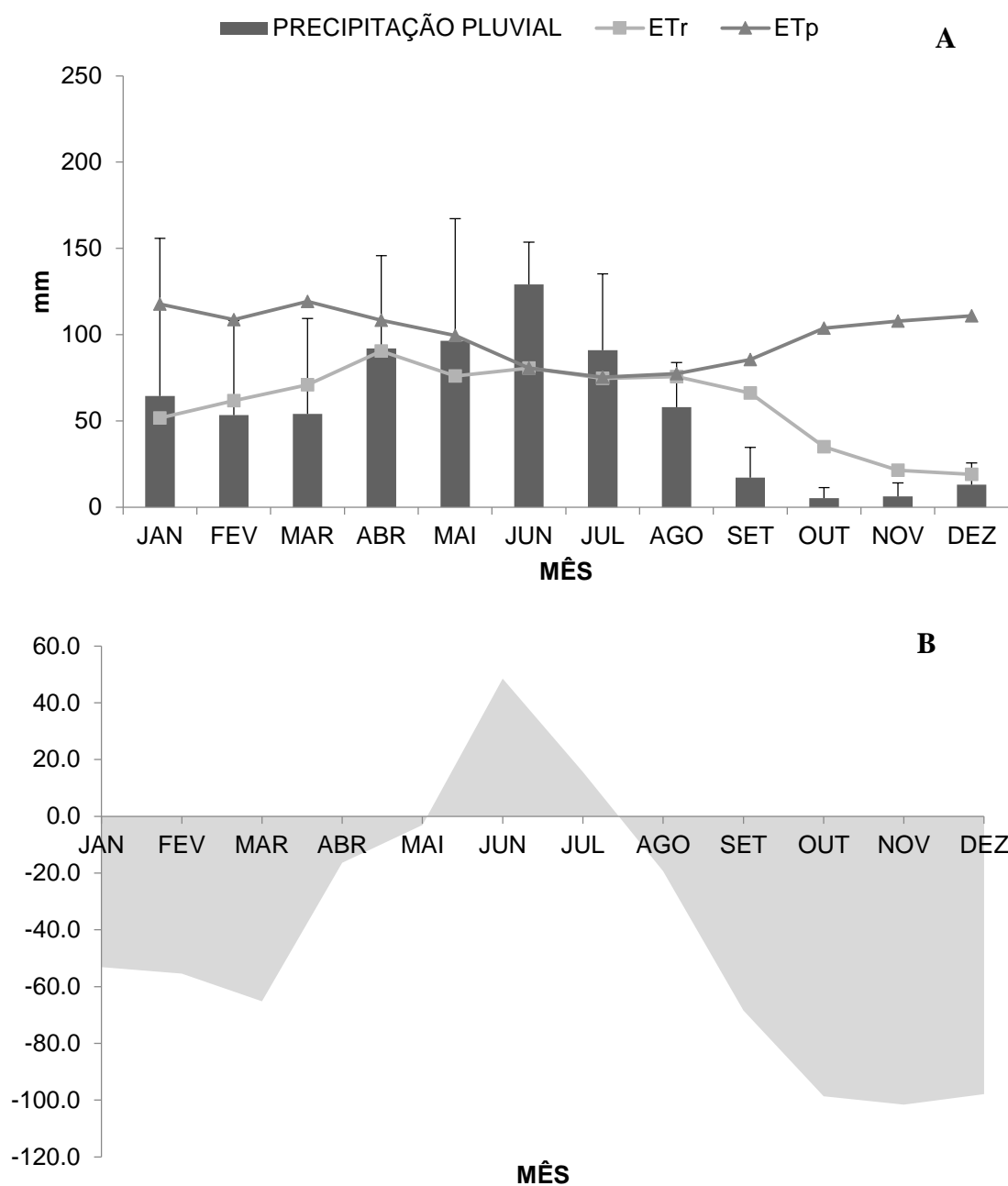
O total de chuvas para o município de Boa Vista foi de 443,9 mm ano<sup>-1</sup> e a evapotranspiração potencial total de 1194,7 mm ano<sup>-1</sup> (Figura 7), com ocorrência de déficit hídrico anual de 750,8 mm ano<sup>-1</sup>, bem superior a dos municípios de Arara e Areial, PB.

A evapotranspiração potencial média anual no município de Boa Vista foi 99,5 mm ( $\pm 15,7$ ) (Figura 5) e a evapotranspiração real de 60,2mm ( $\pm 23,5$ ). É interessante chamar a atenção para o fato de que o déficit hídrico mensal de Arara e Areial serem inferiores ao de Boa Vista (Figura 4). Com relação ao excedente hídrico mensal observa-se nas figuras 4 e 5 que no município de Arara julho (31,3mm) agosto (14,2mm); em Areial junho (48,5mm) julho (15,6mm). Em Boa Vista não foi registrado excedente anual durante o período avaliado,

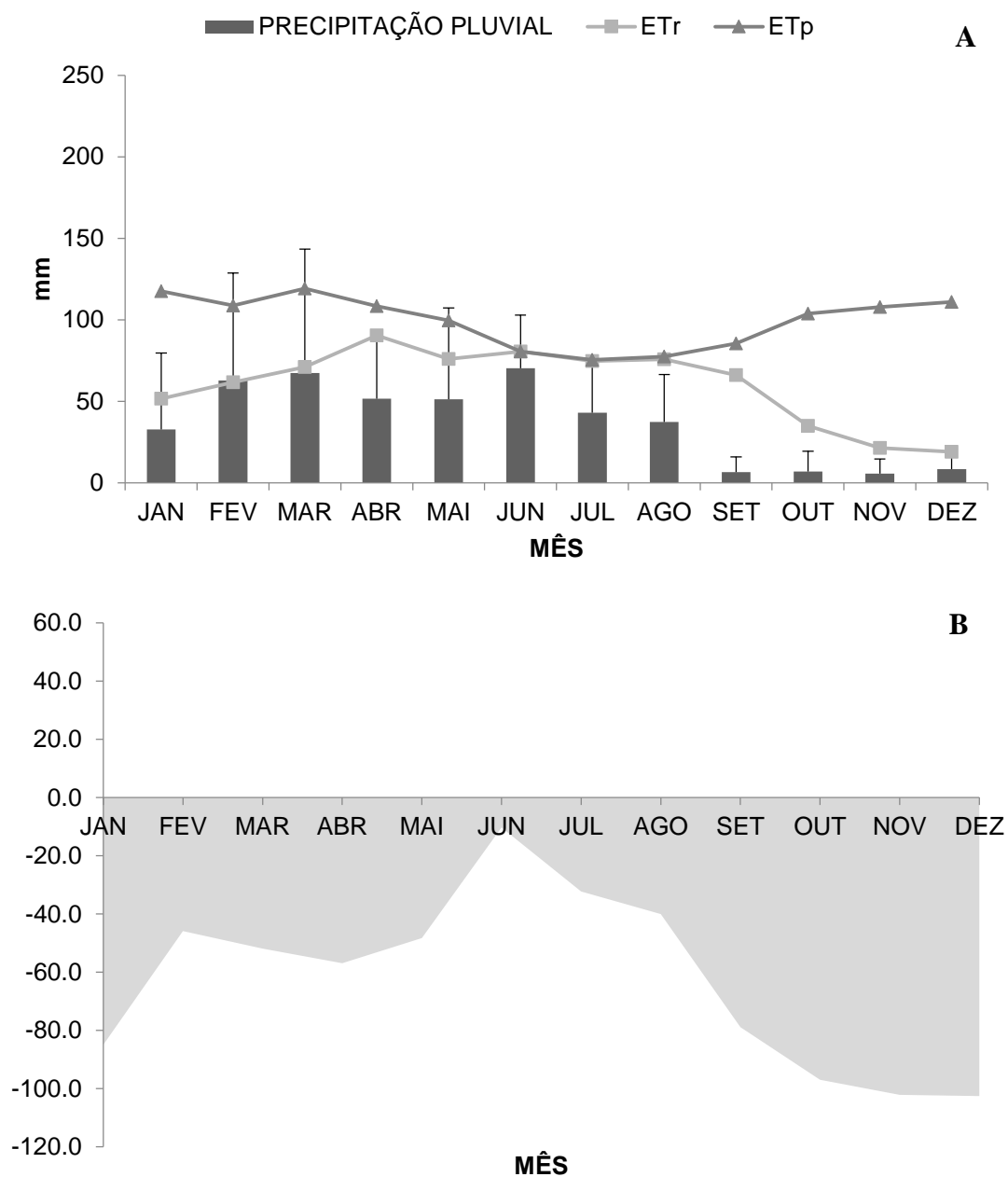
configurando-se assim numa área onde a vegetação passa o ano todo em estresse hídrico negativo. A análise do balanço hídrico entre os ambientes permite observar que a disponibilidade de água para as plantas é maior em Arara e Areial, quando comparada com Boa Vista, PB.



**Figura 5.** Balanço hídrico climatológico e extrato do balanço hídrico climatológico do município de Arara (a e b), PB, baseado em dados termopluviométricos do período de 2004 à 2014 (As barras verticais representam o desvio padrão da média da precipitação pluvial ao longo dos dez anos; ETp = Evapotranspiração potencial; ETr = Evapotranspiração real). INMET-2014.



**Figura 6.** Balanço hídrico climatológico e extrato do balanço hídrico climatológico do município de Areial (a e b), PB, baseado em dados termopluviométricos do período de 2004 à 2014 (As barras verticais representam o desvio padrão da média da precipitação pluvial ao longo dos dez anos; ETp = Evapotranspiração potencial; ETr = Evapotranspiração real). INMET-2014



**Figura 7.** Balanço hídrico climatológico e extrato do balanço hídrico climatológico do município de Boa Vista (a e b), PB, baseado em dados termopluviométricos do período de 2004 à 2014 (As barras verticais representam o desvio padrão da média da precipitação pluvial ao longo dos dez anos; ETp = Evapotranspiração potencial; ETr = Evapotranspiração real). INMET-2014

### 3.3 Índice de Aridez

De acordo com os dados climáticos mensais da série constatou-se pelo índice de Lang, o qual leva em consideração a razão entre a precipitação anual média e a temperatura média anual, que os três ambientes apresentaram características de clima desértico, para todos os meses avaliados, tendo sido verificado em outubro, para Arara e Areial e novembro para Boa Vista, PB, com índices de 0,11; 0,21 e 0,23, respectivamente.

Entretanto, quando se considera o conjunto dos meses, ou seja, o ano todo este modelo remete a zona árida, com índice anual de 2,48 para Arara, PB (Tabela 1). Para o município de Areial, este índice anual foi de 2,45 (Tabela 2), sendo classificada como zona árida e para o município de Boa vista (Tabela 3), de 1,58 sendo classificada como zona desértica.

**Tabela 1.** Índice de aridez mensal pelo modelo de Lang, para Arara, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014

Mês	Precipitação Pluvial (mm)	Temperatura (°C)	I. Lang	Classificação
JAN	84,07	23,46	3,583	Desértico
FEV	60,35	23,74	2,542	Desértico
MAR	61,72	23,95	2,577	Desértico
ABR	86,9	23,60	3,683	Desértico
MAI	87,15	22,64	3,850	Desértico
JUN	112,08	21,38	5,241	Desértico
JUL	87,82	20,65	4,253	Desértico
AGO	58,75	20,58	2,855	Desértico
SET	10,45	21,32	0,490	Desértico
OUT	2,64	22,49	0,117	Desértico
NOV	3,84	23,09	0,166	Desértico
DEZ	10,36	23,50	0,441	Desértico



**Tabela 2.** Índice de aridez mensal pelo modelo de Lang, para Areial, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014

<b>Mês</b>	<b>Precipitação Pluvial (mm)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>I. Lang</b>	<b>Classificação</b>
JAN	64,47	24,58	2,623	Desértico
FEV	53,29	24,82	2,147	Desértico
MAR	53,98	24,91	2,167	Desértico
ABR	92,04	24,46	3,763	Desértico
MAI	96,47	23,50	4,105	Desértico
JUN	129,04	22,14	5,828	Desértico
JUL	90,96	21,37	4,257	Desértico
AGO	58,04	21,43	2,708	Desértico
SET	17,09	22,38	0,764	Desértico
OUT	5,13	23,51	0,218	Desértico
NOV	6,17	24,10	0,256	Desértico
DEZ	13,05	24,51	0,532	Desértico

**Tabela 3.** Índice de aridez mensal pelo modelo de Lang, para Boa Vista, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014

<b>Mês</b>	<b>Precipitação Pluvial (mm)</b>	<b>Temperatura (°C)</b>	<b>I. Lang</b>	<b>Classificação</b>
JAN	32,71	24,58	1,331	Desértico
FEV	62,86	24,82	2,532	Desértico
MAR	67,29	24,91	2,701	Desértico
ABR	51,52	24,46	2,106	Desértico
MAI	51,27	23,50	2,181	Desértico
JUN	70,26	22,14	3,173	Desértico
JUL	43,09	21,37	2,017	Desértico
AGO	37,38	21,43	1,744	Desértico
SET	6,62	22,38	0,296	Desértico
OUT	6,85	23,51	0,291	Desértico
NOV	5,66	24,10	0,235	Desértico
DEZ	8,42	24,51	0,344	Desértico

De acordo com o modelo de Meyer, observou-se que, como o que foi verificado no modelo de Lang, ambos os municípios não apresentaram variação da classificação entre os meses. Por este modelo, os dois municípios possuem clima árido, sendo a maior aridez observada no mês de outubro (0,03) para o município de Arara, e 0,06 para Areial, 0,07 em novembro para Boa Vista, PB (Tabelas 4, 5 e 6, respectivamente).

**Tabela 4.** Índice de aridez mensal pelo modelo de Meyer, para Arara, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014

<b>Mês</b>	<b>Precipitação Pluvial (mm)</b>	<b>UR Média</b>	<b>DSA*</b>	<b>I. Meyer</b>	<b>Classificação</b>
JAN	84,07	81,11	80.97	1,04	Árido
FEV	60,35	81,28	80.70	0,75	Árido
MAR	61,72	81,99	80.36	0,77	Árido
ABR	86,9	85,05	79.93	1,09	Árido
MAI	87,15	87,52	80.19	1,09	Árido
JUN	112,08	89,65	80.83	1,39	Árido
JUL	87,82	89,04	81.61	1,08	Árido
AGO	58,75	86,45	82.21	0,71	Árido
SET	10,45	82,78	82.35	0,13	Árido
OUT	2,64	79,16	82.20	0,03	Árido
NOV	3,84	77,18	82.18	0,05	Árido
DEZ	10,36	77,95	81.69	0,13	Árido

\*DSA = Déficit de Saturação Absoluta

**Tabela 5.** Índice de aridez mensal pelo modelo de Meyer, para Areial, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014

<b>Mês</b>	<b>Precipitação Pluvial (mm)</b>	<b>UR Média</b>	<b>DSA*</b>	<b>I. Meyer</b>	<b>Classificação</b>
JAN	64,47	76,65	81,16	0,79	Árido
FEV	53,29	77,90	80,66	0,66	Árido
MAR	53,98	78,31	80,49	0,67	Árido
ABR	92,04	80,59	80,29	1,15	Árido
MAI	96,47	83,29	80,43	1,20	Árido
JUN	129,04	86,05	80,95	1,59	Árido
JUL	90,96	85,38	81,76	1,11	Árido
AGO	58,04	82,47	82,32	0,71	Árido
SET	17,09	77,63	82,63	0,21	Árido
OUT	5,13	74,10	82,58	0,06	Árido
NOV	6,17	72,93	82,42	0,07	Árido
DEZ	13,05	74,03	81,86	0,16	Árido

\*DSA = Déficit de Saturação Absoluta

**Tabela 6.** Índice de aridez mensal pelo modelo de Meyer, para Boa Vista, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014

<b>Mês</b>	<b>Precipitação Pluvial (mm)</b>	<b>UR Média</b>	<b>DSA*</b>	<b>I. Meyer</b>	<b>Classificação</b>
JAN	32,71	76,65	81,16	0,40	Árido
FEV	62,86	77,90	80,66	0,78	Árido
MAR	67,29	78,31	80,49	0,84	Árido
ABR	51,52	80,59	80,29	0,64	Árido
MAI	51,27	83,29	80,43	0,64	Árido
JUN	70,26	86,05	80,95	0,87	Árido
JUL	43,09	85,38	81,76	0,53	Árido
AGO	37,38	82,47	82,32	0,45	Árido
SET	6,62	77,63	82,63	0,08	Árido
OUT	6,85	74,10	82,58	0,08	Árido
NOV	5,66	72,93	82,42	0,07	Árido
DEZ	8,42	74,03	81,16	0,10	Árido

\*DSA = Déficit de Saturação Absoluta

Com relação a classificação do anual do clima, pelo modelo de Meyer, o município de Arara apresentou índice de 0,69, Areial de 0,70 e Boa Vista de 0,46, indicando que o clima nestes municípios é classificado como árido, semelhantemente observado mensalmente.

O índice de aridez obtido pelo modelo sugerido pela Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CCD), indica que os meses de maior aridez do município de Arara são outubro (0,03) e novembro (0,04) classificando-os como hiperárido (Tabela 7). Em Areial, a mesma característica foi observada, em outubro (0,05) e novembro (0,06) foram classificados como sendo os meses áridos (Tabela 8). Em Boa Vista, os meses com maior índice são novembro (0,05), Outubro (0,07) e dezembro (0,08) com característica de clima árido (Tabela 9).

**Tabela 7.** Índice de aridez mensal pelo modelo de Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CCD), para Arara, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014

Mês	Precipitação Pluvial (mm)	ETp*	I. ONU	Classificação
JAN	84,07	110,15	0,76	Subúmido e úmido
FEV	60,35	98,69	0,61	Subúmido-úmido seco
MAR	61,72	107,69	0,57	Subúmido-úmido seco
ABR	86,9	99,74	0,87	Subúmido e úmido
MAI	87,15	92,75	0,94	Subúmido e úmido
JUN	112,08	80,75	1,39	Subúmido e úmido
JUL	87,82	73,53	1,19	Subúmido e úmido
AGO	58,75	73,41	0,80	Subúmido e úmido
SET	10,45	78,47	0,13	Árido
OUT	2,64	93,91	0,03	Hiperárido
NOV	3,84	98,09	0,04	Hiperárido
DEZ	10,36	106,37	0,10	Árido

\*Etp = Evapotranspiração potencial

**Tabela 8.** Índice de aridez mensal pelo modelo de Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CCD), para Areial, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014

Mês	Precipitação Pluvial (mm)	ETp*	I. ONU	Classificação
JAN	64,47	117,61	0,55	Subúmido-úmido seco
FEV	53,29	108,72	0,49	Semiárido
MAR	53,98	119,16	0,45	Semiárido
ABR	92,04	108,42	0,85	Subúmido e úmido
MAI	96,47	99,54	0,97	Subúmido e úmido
JUN	129,04	80,54	1,60	Subúmido e úmido
JUL	90,96	75,35	1,21	Subúmido e úmido
AGO	58,04	77,40	0,75	Subúmido e úmido
SET	17,09	85,49	0,20	Árido
OUT	5,13	103,78	0,05	Árido
NOV	6,17	107,77	0,06	Árido
DEZ	13,05	110,95	0,12	Árido

\*Etp = Evapotranspiração potencial

**Tabela 9.** Índice de aridez mensal pelo modelo de Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca (CCD), para Boa Vista, Paraíba, no período de janeiro de 2004 à janeiro de 2014

Mês	Precipitação Pluvial (mm)	ETp*	I. ONU	Classificação
JAN	32,71	117,61	0,28	Semiárido
FEV	62,86	108,72	0,58	Subúmido-úmido seco
MAR	67,29	119,16	0,56	Subúmido-úmido seco
ABR	51,52	108,42	0,48	Subúmido-úmido seco
MAI	51,27	99,54	0,52	Subúmido-úmido seco
JUN	70,26	80,54	0,87	Subúmido e úmido
JUL	43,09	75,35	0,57	Subúmido-úmido seco
AGO	37,38	77,40	0,48	Semiárido
SET	6,62	85,49	0,08	Árido
OUT	6,85	103,78	0,07	Árido
NOV	5,66	107,77	0,05	Árido
DEZ	8,42	110,95	0,08	Árido

\*Etp = Evapotranspiração potencial

Em termos anuais, o valor médio do índice de aridez pelo modelo CCD foi 0,62 para Arara, 0,61 para Areial e 0,38 para Boa Vista, caracterizando-os como clima Subúmido-úmido seco, Subúmido-úmido seco e semiárido, respectivamente.

É importante explicitar sobre a utilização da evapotranspiração potencial estimada pelo modelo de Thornthwaite que no seu cálculo usa somente a temperatura e latitude local para o modelo CCD. Certamente, o maior entrave para a acurácia do modelo está na obtenção da evapotranspiração, o que poderia ser mais precisa quando obtida por meio de lisímetro, sendo uma medida direta da evapotranspiração potencial (ETp). Dentre os modelos usados na estimativa da evapotranspiração, o de Penman-Monteith é um dos mais sofisticados porque combina a equação do balanço de energia e os gradientes (variação) de umidade, temperatura e velocidade do vento. A maior dificuldade de aplicação de modelos mais sofisticados, no entanto, deve-se ao fato de poucas localidades disponibilizarem todos os dados necessários para sua utilização. Devido este fato é que se usam modelos mais simples porque necessitam apenas dados de temperatura e de latitude, comumente encontrados em estações meteorológicas da região.

Dos modelos avaliados para expressar o clima pelo índice de aridez, o CCD foi o que mais se aproximou da caracterização climática dos municípios do Agreste da Paraíba. Os índices de aridez calculados pelos modelos de Lang e Meyer não expressam com acurácia as condições do clima dos três ambientes. De acordo com modelo de Lang classifica o clima de

Arara e Areial como zona árida e Boa Vista como zona desértica, em comparação ao índice de Meyer classificando-os todos como áridos.

Segundo Ramalho (2008) é importante considerar os problemas associados às classificações climáticas comumente são decorrentes da dificuldade em se definir limites precisos para a caracterização dos elementos do clima e da vegetação, bem como aqueles associados as definições baseadas na vegetação que necessitam considerar outros fatores que não apenas o clima. Também sabe-se que os valores médios não representam a manifestação climática porque normalmente não são considerados todos os elementos do clima. Por outro lado, é comum a ocorrência da alta variabilidade temporal e espacial dos fatores climáticos. Logo definir um índice de aridez que represente as reais condições de uma região em termos de variação espacial e temporal torna-se difícil e complexo.

### 3.4 Caracterização dos Atributos Físicos do Solo

A análise física do solo das áreas demonstrou variabilidade significativa dos atributos físicos do solo para as três áreas de caatinga com ocorrência de *Pilosocereus cattingicola* subsp. *salvadorensis* ( $P < 0,0001$ ) e que esta variância não se trata de uma obra do acaso ( $PMC < 0,0001$ ) (Tabela 10).

**Tabela 10.** Análise de Variância Multivariada por Permutação (PERMANOVA - *Permutational Multivariate Analysis of Variance*) de todos os atributos físicos analisados neste trabalho para as três áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm)

FONTE	GL	SQ	QM	F	P(PERM)	P(MC)
Área (AR)	2	2803,9454	1401,9727	53,3724	0,0001	0,0001
Profundidade (PR)	1	0,6392	0,6392	0,0243	0,9655	0,9647
ARxPR	2	25,6433	12,8216	0,4881	0,6253	0,6217
Resíduo	18	472,8196	26,2678			
Total	23	3301,7691				

Sem transformações; Sem padronização; Análise baseada na dissimilaridade de Bray-Curtis; Permutações sem restrição (Número inicial como semente = 1 de 10.000 permutações); GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio ( $\sigma^2$ ); F = Teste de Fisher; P(perm) = Probabilidade do teste de permutação; P(MC) = Probabilidade do Teste de Permutação de Monte Carlo.

Os ambientes apresentam características físicas de solo distintas, contudo essas características não variam conforme a profundidade para cada uma das áreas em estudo, uma vez que não houve alteração significativa para os descritores físicos do solo entre as duas profundidades de coleta nas três áreas de ocorrência de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* (Tabela 11).

**Tabela 11.** Teste entre os níveis do fator áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo)

Grupos	t	P (Permutação)	P (Monte Carlo)	Valor
<b>Arara - Areial</b>	6,4543	0,0002	0,0001	5,124
<b>Arara - Boa Vista</b>	9,1889	0,0001	0,0001	5,069
<b>Areial - Boa Vista</b>	5,4245	0,0001	0,0001	5,044

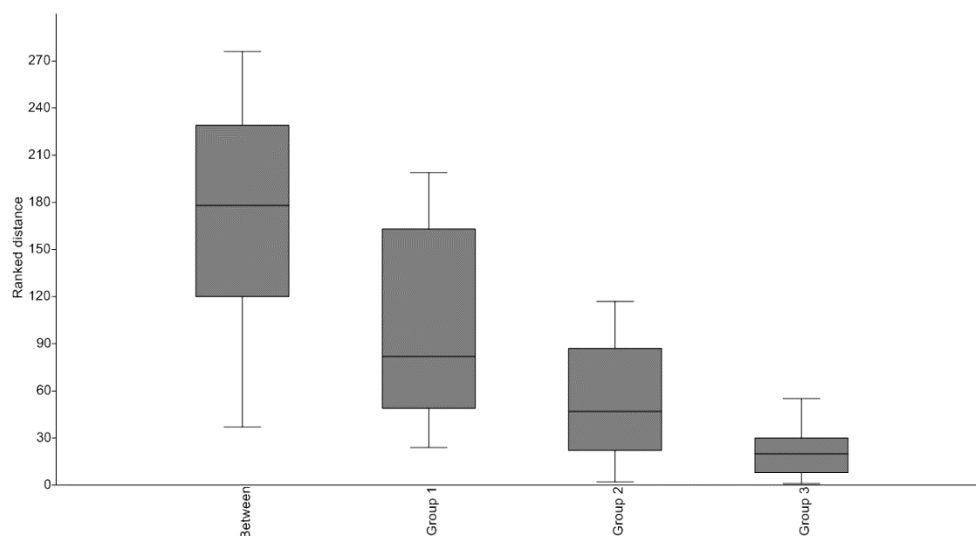
t = valor inicial da permutação para o grupo

A análise de dissimilaridade de Bray-Curtis demonstrou que a área de Arara os atributos físicos de solo apresentam-se mais variáveis em relação a si mesma (9,113), seguida de Areial (3,949) e Boa Vista (2,223) (Tabela 12), implicando maior diversidade de arranjo de partículas, mosaicos de solos e características estruturais na primeira.

As áreas de Arara e Areial são dissimilares entre si (19,228) quando comparada com Arara e Boa Vista (25,596). Entretanto há semelhança entre Areial com Boa Vista (7,044) e portanto, as características físicas destes solos não são tão discrepantes, possivelmente a compartimentação da mesma região geográfica e a proximidade entre essas áreas corroboram com o compartilhamento de características edáficas semelhantes (Figura 8).

**Tabela 12.** Média da dissimilaridade dentro e entre e intra áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo)

	Arara	Areial	Boa Vista
<b>Arara</b>	9,113		
<b>Areial</b>	19,228	3,949	
<b>Boa Vista</b>	25,596	7,044	2,223



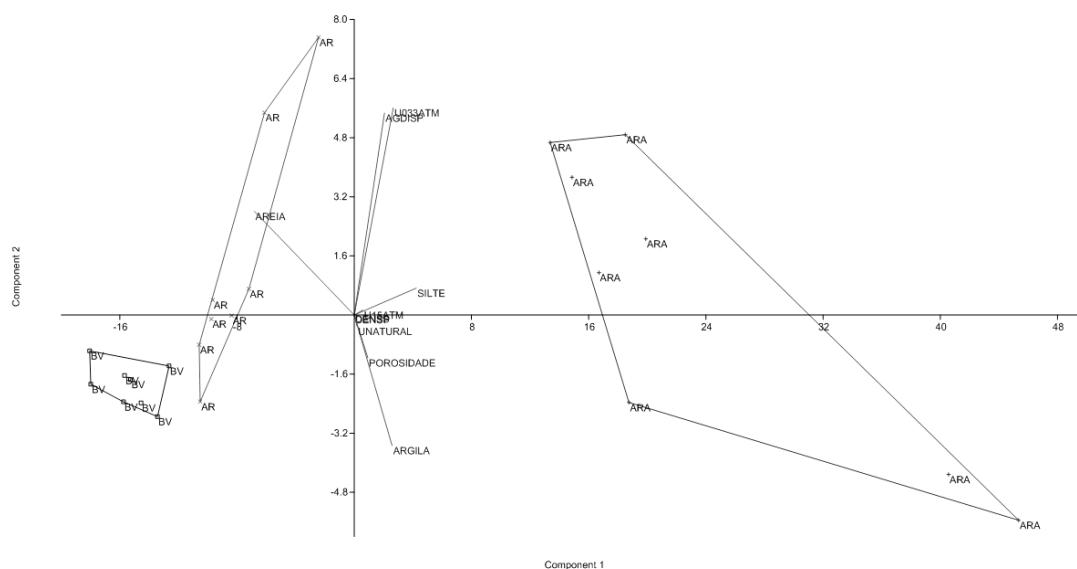
**Figura 8.** Box-plot do índice de dissimilaridade de Bray-Curtis entre e intra áreas de estudo (*Ranked distance* = Distância ranqueada; *Between* = Entre grupos; *Group 1*, Grupo 1 Arara – Areial; *Group 2*, Grupo 2 = Arara - Boa Vista; *Group 3*, Grupo 3 = Areial – Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo)

As características físicas do solo permitiram elaborar e agrupar as variáveis físicas, onde foi possível caracterizar e distinguir nitidamente os três ambientes em estudo com base na análise de componentes principais (Figura 9).

A fração Areia é um dos componentes que caracteriza os solos dos ambientes de Areial e Boa Vista. As frações silte e argila constituem como componente com maior variação para a área de Arara, PB (Figura 9).

A umidade, porosidade e o teor de água disponível são características dos solos do ambiente de Arara, PB. Essas variáveis distinguem e caracterizam essa caatinga em relação às áreas de Areial e Boa Vista, PB (Figura 9).





**Figura 9.** Análise de componentes principais referente aos atributos físicos do solo das três áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) - ARA = Arara; AR = Areial; BV = Boa Vista, PB

O solo da caatinga de Arara apresenta-se como mais raso (0,80m), entretanto com maior deposição de material orgânico no horizonte A. Ao que parece é um dos menos intemperizados quando comparados aos de Areial (1,10m) e Boa Vista (1,20m) (Figura 10).



**Figura 10.** Perfis dos solos das áreas nos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba (respectivamente)

### 3.4.1 Distribuição de partículas nas áreas

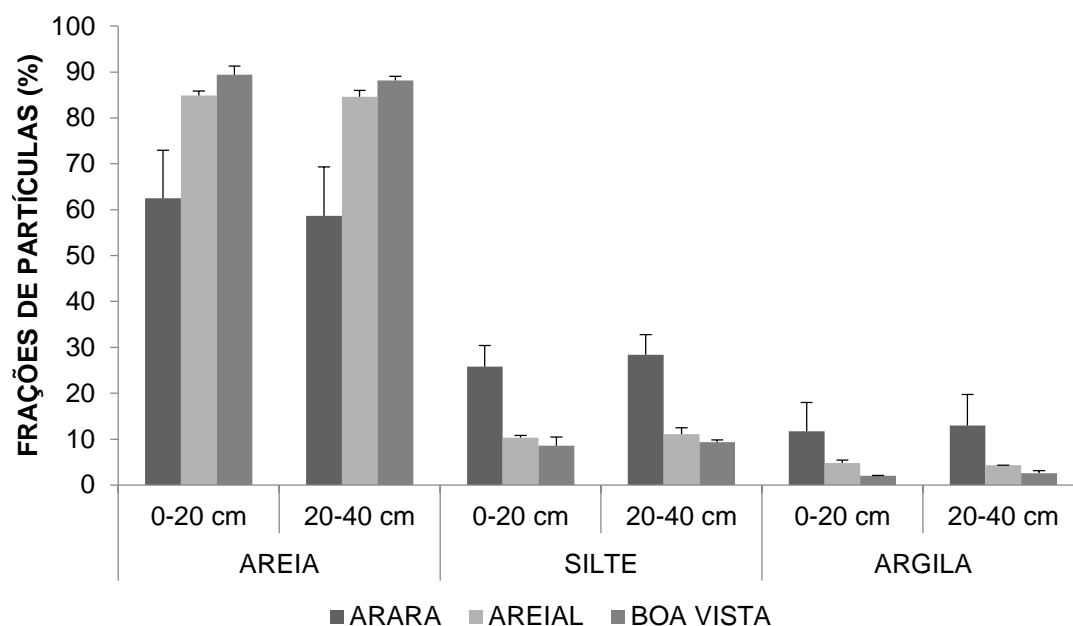
Os teores de areia em Arara variam entre 58,6 a 62,4% caracterizando-se um solo de textura franco arenosa. Em Areial foram encontrados teores superiores da fração areia (84,6 a 84,8%), classificando este solo como arenoso. Em Boa Vista os teores variaram entre 88,1 a 89,3% (Figura 11), conferindo a este solo textura franco-argilo-arenosa.

Em um estudo realizado por Ferreira (2011), foram encontrados teores de areia próximos aos das áreas de domínio de *Pilosocereus cattingicola*, numa caatinga secundária com exploração seletiva de componentes lenhosos no município de São João do Cariri, PB. Deste modo as possíveis diferenças de vegetação de riqueza e abundância Cactaceae devem estar associadas aos atributos físicos do solo, principalmente aos teores da fração areia (BARBOSA, 2011).

Os teores da fração silte variaram nas três áreas de caatinga estudadas e nas duas profundidades de coleta de solo. Em Arara os teores de silte variaram entre 25,7 a 28,3%. A caatinga de Areial apresentou os menores teores de silte (10,2 a 11,0%), entretanto na área de Boa Vista foram encontrados teores ainda menores (8,5 a 9,3%) (Figura 11), corroborando com o estudo de Ferreira (2011), onde analisou atributos físicos de uma caatinga similar no Cariri paraibano. A fração silte, normalmente, apresenta-se baixa em áreas onde ocorre alta intemperização dos solos e redução da cobertura vegetal, típica de caatingas secundárias com corte seletivo do componente arbustivo-arbóreo.

Na caatinga de Arara foram amostrados os teores de argila mais elevados para todas as profundidades de coleta. O percentual de argila nessa área variou de 11,7 a 13,0%, com tendência ao aumento conforme a profundidade de coleta, observação feita também por Reinaldo e Silva (2006) quando estudou ARGISSOLOS, verificando a presença de argila de elevada atividade, e aumento do teor daquele para este (ARRUDA, 2008).

Diferentemente, Areial apresentou teores de argila entre 4,3 a 4,8%, nomeadamente os PLANOSSOLOS caracterizam por apresentar textura mais arenosa, no entanto contrastando abruptamente com o horizonte B (ARRUDA, 2008). De modo semelhante a área de Areial, na caatinga de Boa Vista, os teores de argila oscilaram entre 2,0 a 2,5% (Figura 11), naturalmente os LUVISSOLOS são caracterizados por apresentar argila de alta atividade (EMBRAPA, 2006).



**Figura 11.** Valores médios de areia, silte e argila em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N= 4)

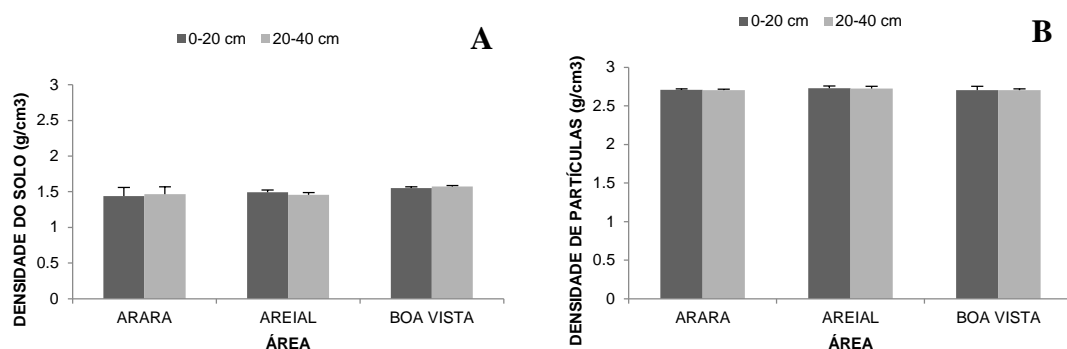
### 3.4.2 Densidade, porosidade, umidade e água disponível

A densidade do solo na caatinga de Arara variou entre 1,36 a 1,45 e 2,73 g.cm<sup>-3</sup>, em Areial foi de 1,55 a 1,61 g.cm<sup>-3</sup> e em Boa Vista oscilou entre 1,55 a 2,73 g.cm<sup>-3</sup> (Figura 12a), sendo que as partículas mais adensadas com o aumento da profundidade de 20-40 cm, corroborando com o tipo de solo da área, onde Arruda (2008) comentou sobre o adensamento no horizonte B em PLANOSSOLOS, com acentuada concentração de argila, permeabilidade lenta, o que para o crescimento e desenvolvimento de Cactaceae tornam-se num microhabitat favorável, uma vez que estas plantas apresentam raízes superficiais e dispersas junto a superfície solo, respondendo rapidamente as infrequentes entradas hídricas.

As densidades foram inferiores às do estudo realizado por Ferreira (2011), naturalmente associada ao uso dos fragmentos bem como ao tipo de solo das áreas. Os valores da densidade de um LUVISSOLO de uma reserva de proteção permanente em Patos - PB situaram-se na faixa de 1,22 a 1,54 g.cm<sup>-3</sup> (ARAÚJO, 2007).

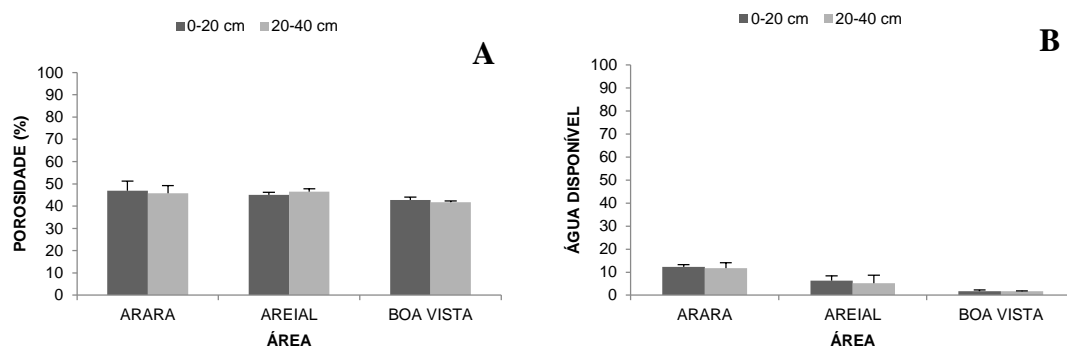
A densidade de partículas (Figura 12b) para os ambientes de ocorrência de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* não apresenta diferenças quando comparadas entre si. Em

Arara foram amostrados valores oscilando entre 2,7 a 2,72 g.cm<sup>-3</sup>, em Areial 6,69 a 2,76 g.cm<sup>-3</sup> e em Boa Vista ente 2,65 a 2,76 g.cm<sup>-3</sup>.



**Figura 12.** Valores médios da densidade do solo (a) e densidade de partículas (b) em amostras das áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

A porosidade não varia ao longo das áreas de estudo (Figura 13a), entretanto o teor de água disponível (Figura 13b) é bem superior em Arara (7,07;  $\pm 0,6$ ) quando comparado com os ambientes de Areial (5,2;  $\pm 1,7$ ) e Boa Vista, PB (1,68;  $\pm 0,52$ ).

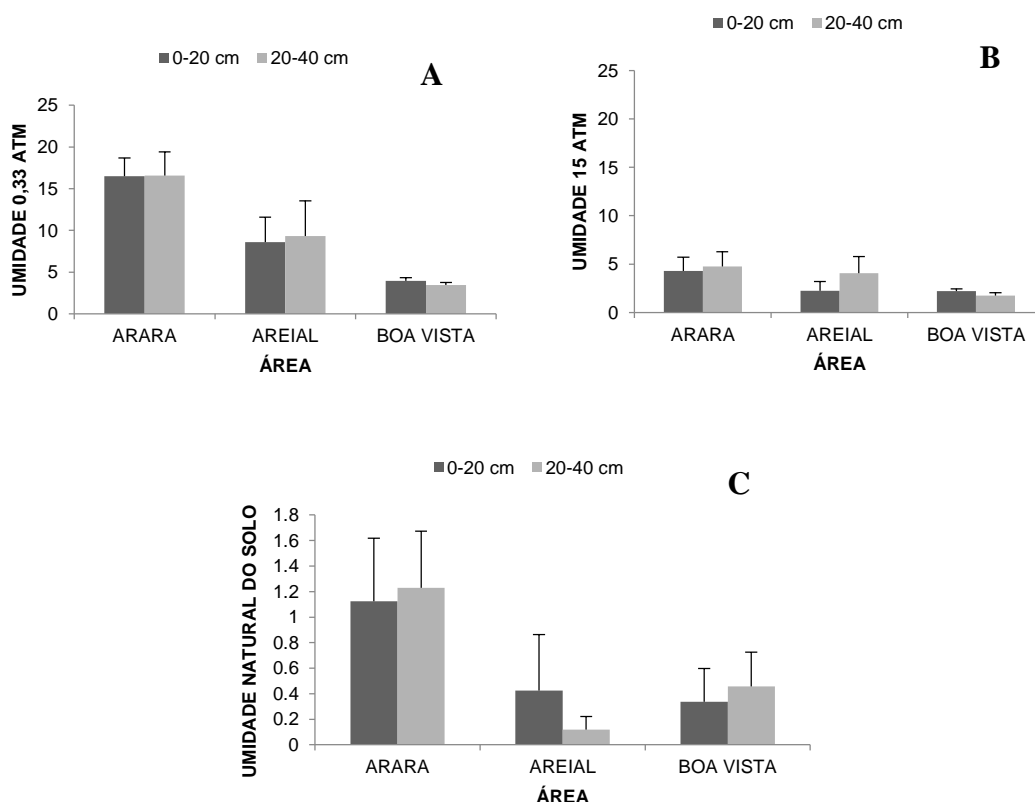


**Figura 13.** Valores médios da porosidade (a) e água disponível (b) em amostras das áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

Os teores de umidade de solo a 0,33 ATM foram distintos entre as áreas de Arara quando comparadas com Areial e Boa Vista, PB para as duas profundidades de coleta (Figura 14a), que por sua vez houve diferença para as duas últimas quando comparadas entre si. Por outro lado, os teores de umidade em 14 ATM demonstraram que apenas o ambiente de Arara diferencia-se

de Boa Vista, não havendo significativa diferença entre Arara e Areial para as duas profundidades coleta (Figura 14b).

O solo de Arara caracteriza por aparentar alta umidade natural em relação ao de Areial e Boa Vista, PB (Figura 14c), possivelmente essa característica está intimamente ligada com a textura do solo, sobretudo com os teores da fração argila. Neste sentido, Beutler et al. (2002) observaram que retenção de água foi positivamente influenciada pelo teor de argila em solos cultivados e que, em solo sob mata, a retenção de água, em diferentes profundidades, mostrou-se dependente do teor de matéria orgânica. A retenção de água pela fração argila dá-se pelo aumento na capacidade de adsorção da água pela partícula de argila, sendo a textura do solo determinante na retenção de água.



**Figura 14.** Valores médios da umidade a 0,33 ATM e 15 ATM de solos em amostras das áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

### 3.5 Caracterização dos Atributos Químicos do Solo

As características químicas de solo quando avaliadas em conjunto demonstraram que esses descritores distinguem os três ambientes de ocorrência de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* ( $P < 0,0001$ ), essa distinção é portanto, factual e não obra do acaso ( $PMC < 0,0001$ ). No entanto, quando avaliados conjuntamente esses atributos não variam ao longo dos ambientes de Arara, Areial e Boa Vista em termos de profundidade de coleta (Tabela 12).

**Tabela 12.** Análise de Variância Multivariada por Permutação (PERMANOVA - *Permutational Multivariate Analysis of Variance*) de todos os atributos e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-40cm) químicos analisados neste trabalho para as três áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm)

FONTE	GL	SQ	QM	F	P(PERM)	P(MC)
Área (AR)	2	3376,0636	1688,0318	13,8568	0,0001	0,0001
Profundidade(PR)	1	139,8752	139,8752	1,1482	0,2990	0,3097
ARxPR	2	288,3661	144,1831	1,1836	0,3060	0,3177
Resíduo	18	2192,7568	121,8198			
Total	23	5997,0618				

Sem transformações; Sem padronização; Análise baseada na dissimilaridade de Bray-Curtis; Permutações sem restrição (Número inicial como semente = 1 de 10.000 permutações); GL = graus de liberdade; SQ = soma de quadrados; QM = quadrado médio ( $\sigma^2$ ); F = Teste de Fisher; P(perm) = Probabilidade do teste de permutação; P(MC) = Probabilidade do Teste de Permutação de Monte Carlo.

Os ambientes de ocorrência de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* quando comparados aos pares e entre-si demonstram que as variáveis químicas analisadas conjuntamente distinguem os ambientes (Tabela 13), ou seja, essas variáveis apresentam-se dissimilares e compartilham-se distintamente em cada área de caatinga, e portanto exige da espécie adaptação para a colonização e estabelecimento nessas áreas em face os ambientes adaptando-se as condições edáficas locais.

**Tabela 13.** Teste entre os níveis do fator áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo)

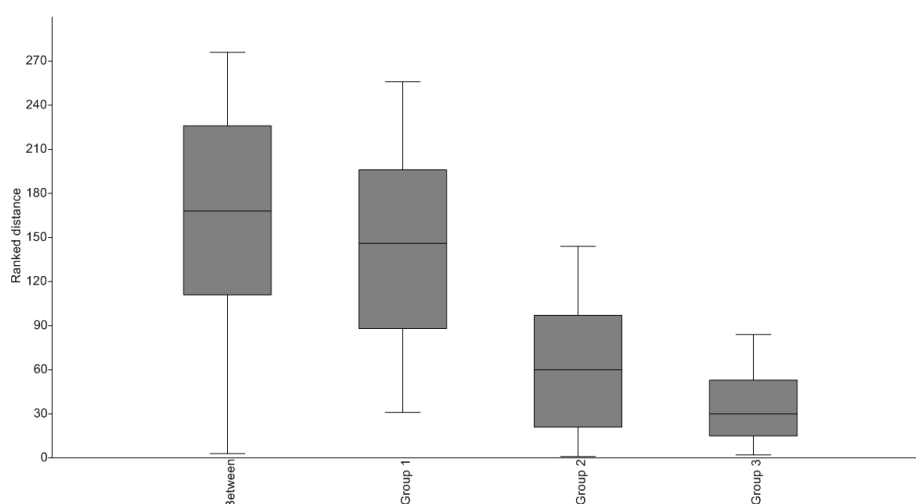
Grupos	t	P (Permutação)	P (Monte Carlo)	Valor
<b>Arara - Areial</b>	4,2137	0,0002	0,0001	5,128
<b>Arara - Boa Vista</b>	3,6845	0,0002	0,0008	5,080
<b>Areial - Boa Vista</b>	2,6196	0,0004	0,0028	5,018

t = valor inicial da permutação

A área de Arara apresenta maior variabilidade de seus atributos químicos de solo, o que parece estar relacionado com a presença de animais em pastejo, sendo o valor da dissimilaridade de Bray-Curtis (17,8), seguida de Areial (11,9) e Boa Vista (11,6). Numa comparação entre os ambientes, os atributos de solo levam a incluir Arara como uma caatinga com características bem distintas quando comparada com Areial (28,4) e Boa Vista (24,3). No entanto, essas características são semelhantes quando comparadas as caatingas de Areial com Boa Vista (16,4) (Tabela 14) (Figura 15).

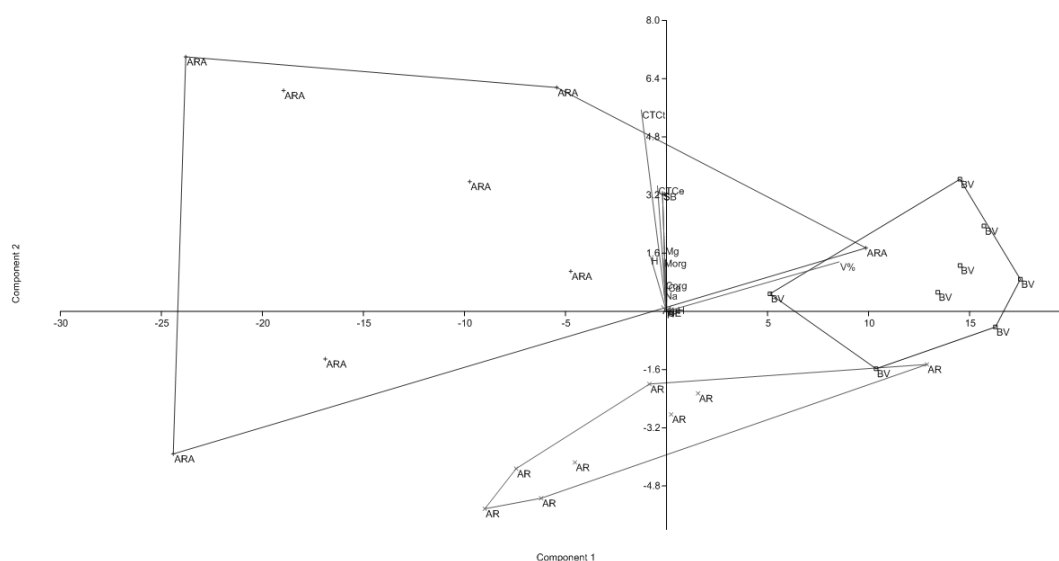
**Tabela 14.** Média da dissimilaridade dentro e entre e intra áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo)

	Arara	Areial	Boa Vista
<b>Arara</b>	17,849		
<b>Areial</b>	28,407	11,919	
<b>Boa Vista</b>	24,382	16,444	11,674



**Figura 15.** Box-plot do índice de dissimilaridade de Bray-Curtis entre e intra áreas de estudo (*Ranked distance* = Distância ranqueada; *Between* = Entre grupos; *Group 1*, Grupo 1 Arara – Areial; *Group 2*, Grupo 2 = Arara - Boa Vista; *Group 3*, Grupo 3 = Areial – Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4-cm) (10.000 Permutações de Monte Carlo)

As características químicas permitiram caracterizar os ambientes de ocorrência de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis*, de modo que a capacidade de troca catiônica e os teores de hidrogênio caracterizam o ambiente de Arara, PB o que o distingue dentre os ambientes de Areial e Boa Vista, PB (Figura 16). Solos com presença de material orgânico normalmente possui maior capacidade de troca catiônica (CTC) efetiva e em pH 7,0 (CIOTTA et al., 2003), uma vez que a matéria orgânica do solo é formada de cargas negativas e dependentes de pH, que por sua vez interage com cálcio, magnésio, potássio e alumínio.



**Figura 16.** Análise de componentes principais referente aos atributos químicos do solo das três áreas de estudo (Arara, Areial e Boa Vista, PB) em diferentes profundidades (0-20cm; 20-4cm) - ARA = Arara; AR = Areial; BV = Boa Vista

### 3.5.1 Cátions trocáveis, nitrogênio, enxofre, fósforo, alumínio e hidrogênio

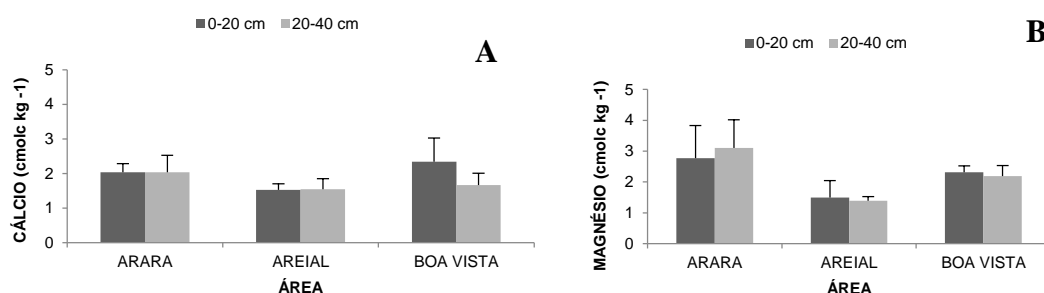
Os ambientes de ocorrência de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* apresentaram teores de cálcio divergentes, sendo que nas áreas da Arara, Areial e Boa Vista foram semelhantes e variaram pouco ao longo das profundidades de solo estudadas, entretanto foram encontrados teores mais elevados na área de Boa Vista na profundidade de 0-20 cm (Figura 17a).

Segundo Mello et al. (1983) à medida que a água percola através do solo, há uma tendência de empobrecimento em cálcio, nomeadamente na área de Boa Vista a vegetação



encontra-se mais conservada ao que se observou maior aporte de serapilheira ao solo conferindo a este certamente maior aporte de nutrientes e bases trocáveis.

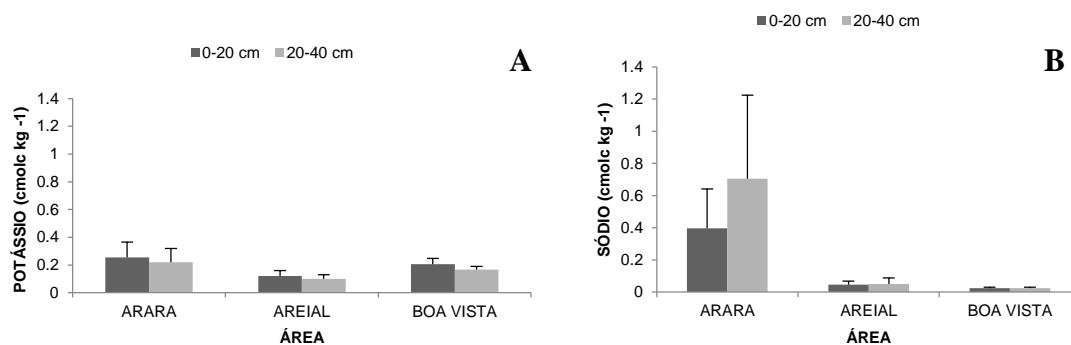
Os teores de magnésio apresentaram-se elevados de acordo com Raij (1981), a variação entre as áreas avaliadas sugere que nesses solos não há deficiência do elemento (Figura 17b). Os teores de Arara divergem daqueles de Areial, PB, contudo são semelhantes comparado a Boa Vista, PB (Figura 17b).



**Figura 17.** Valores médios de cálcio e magnésio em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

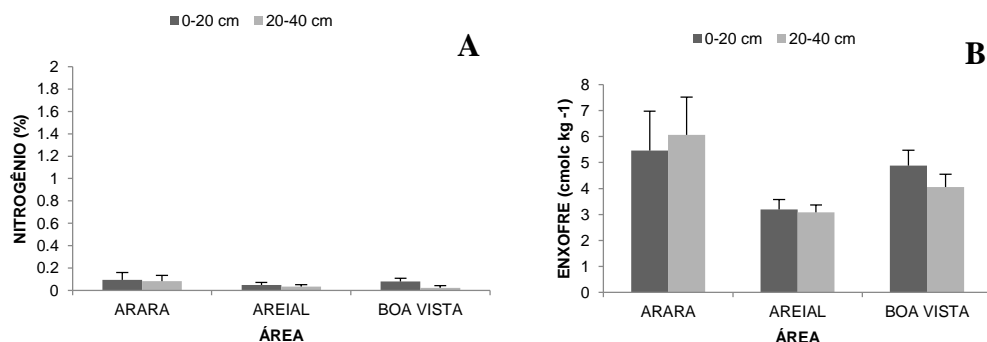
O potássio apresentou-se de forma heterogênea nas áreas em estudo, entretanto não foram encontradas diferenças nos teores dessa base entre as áreas (Figura 18a). De acordo com a classificação para o potássio sugerida pela Embrapa (1980), as áreas apresentam teores médios de potássio, outros estudos têm encontrado teores de potássio superiores a 1,5 cmolc kg<sup>-1</sup>, em solos de áreas semiáridas nos estados no Rio Grande Norte e Paraíba (CHAVES et al., 1998; ARAÚJO; OLIVEIRA, 2003).

Os teores de sódio foram característicos do ambiente de Arara, entretanto não se diferenciaram quando comparado com Areial e Boa Vista, PB (Figura 18b). O sódio é um elemento tipicamente encontrado em terras semiáridas devido às particularidades das condições estruturais dos solos da região e a elevada evapotranspiração. Os teores de sódio mais elevados foram encontrados nas profundidades de 0-20 cm e 20-40cm na caatinga de Arara, PB. As caatingas de Areial e Boa Vista apresentaram os menores teores de sódio nas duas profundidades de coleta, sendo uma típica característica de uma caatinga com solo de textura arenosa (Figura 18b), onde a evaporação da água do solo ocorre de forma rápida deixando os sais próximos à sua superfície.



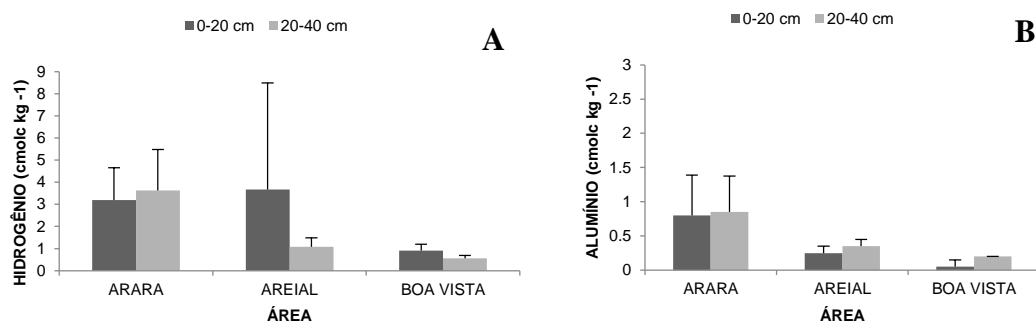
**Figura 18.** Valores médios de sódio e potássio em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

Em Arara foram encontrados os maiores teores de nitrogênio e enxofre (Figura 19a e 19b, respectivamente), entretanto não os teores são semelhantes para Areial e Boa Vista, onde nesses ambientes a textura do solo caracteriza-se prevalentemente arenosa. Os solos de Arara são mais ricos em enxofre, quando comparado com os demais ambientes (Figura 19b), o que possivelmente esteja relacionado com outros fatores como a taxa de decomposição da serapilheira e o aporte de material orgânico ao longo do ano.



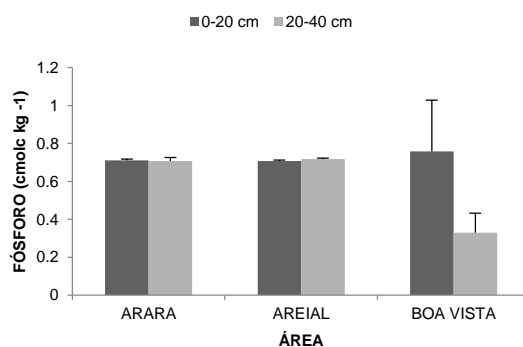
**Figura 19.** Valores médios de nitrogênio e enxofre em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

As áreas de Arara e Areial apresentam teores de hidrogênio semelhantes e não distinguem-se entre si quando comparadas na profundidade de 0-20 cm, no entanto esses teores diminuem gradativamente com o aumento da profundidade (20-40 cm) (Figura 20a), distinguindo Boa Vista dentre as demais áreas de estudo (Figura 20a). Os teores de alumínio (Figura 20b) foram mais elevados em Arara que por sua vez divergiu daquela de Areial e Boa Vista, no entanto não foi encontrada diferença entre Areial e Boa Vista.



**Figura 20.** Valores médios de hidrogênio e alumínio em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

O fósforo por sua natureza é pouco móvel no solo, logo o que se visualiza são desvios de médias maiores em relação aos outros elementos, como pode ser observado na figura 21 os teores de fósforo em Arara, Areial e Boa Vista são semelhantes e não diferem entre si, entretanto divergiu quando coletado na profundidade de 20-40 cm em Boa Vista, PB (Figura 21). De acordo com Salcedo (2004) e Francelino et al. (2005) a deficiência de fósforo é apontada como uma das principais limitações encontradas nos solos do semiárido afetando o crescimento e desenvolvimento das populações e comunidades vegetais da caatinga.



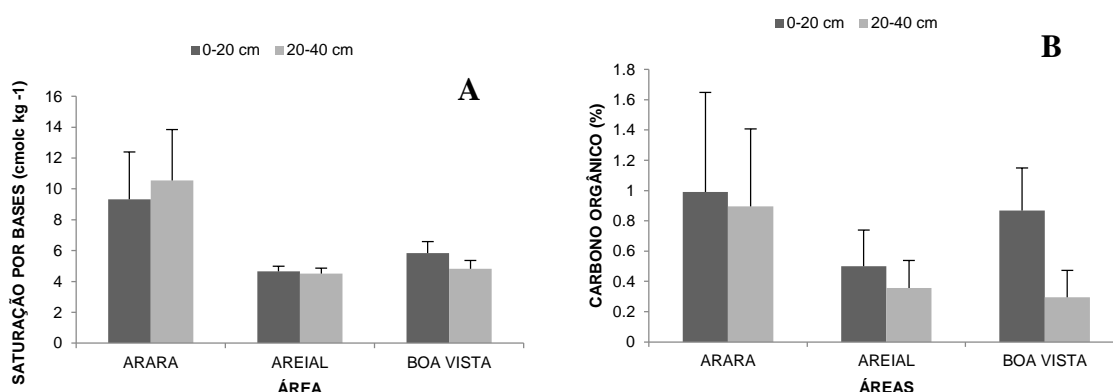
**Figura 21.** Valor médio de fósforo em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

### 3.5.2 Saturação por bases, carbono orgânico, matéria orgânica, pH e Condutividade elétrica

Em Arara foram amostrados os maiores percentuais de saturação por bases e os menores em Areial, isso corrobora com para demonstrar uso do solo de Areial, especialmente para cultivos agrícolas pretéritos e retirada da vegetação nativa para dar lugar em parte a pastagens. Assim como para os dois primeiros ambientes, em Boa Vista houve variação no percentual em ao longo da profundidade (Figura 22a). Entretanto, as áreas apresentaram boas condições de fertilidade de solo, tendo como indicativo o valor da saturação por bases (FILHO, 2006).

Os teores de carbono orgânico foram quando analisados em conjunto com a matéria orgânica, a relação do teor carbono orgânico expressa-se na cinética de decomposição do material orgânico, o qual ao longo do tempo atua como aporte de carbono para o solo. Observou-se que na profundidade de 0-20cm foram encontrados os maiores teores de carbono orgânico (Figura 22b). Esses resultados são corroborados com os de Barreto et al. (2004), onde demonstrou que a quantidade de carbono orgânico do solo é muito variável, dependendo principalmente do tipo de solo e da vegetação. A caatinga de Arara apresentou elevado número de espécies no estrato arbustivo-arbóreo, entretanto reduzido número de espécimes de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* quando comparada com as demais áreas em estudo.

Todas as áreas apresentaram solos eutróficos, indicando que a maior parte do complexo de troca do solo esta sendo ocupada pelos cátions básicos:  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$  e  $Na^+$  (CHAVES et al., 2006; RAMALHO, 2008).

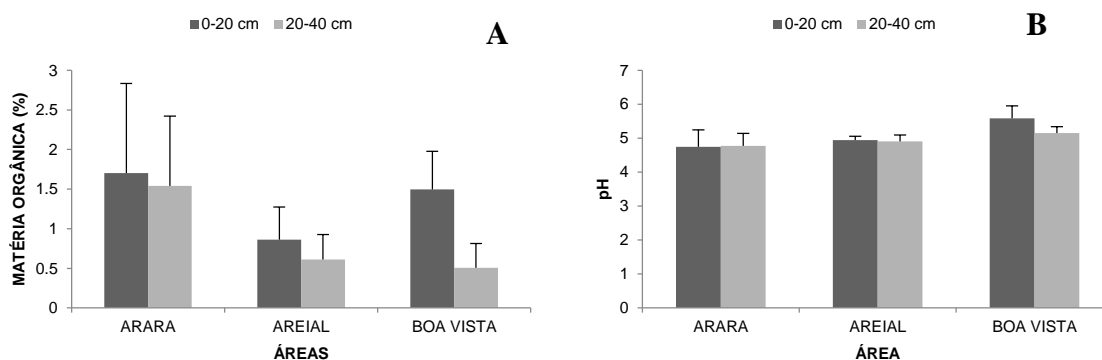


**Figura 22.** Valores médios de saturação por bases (a) e carbono orgânico (b) em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

A matéria orgânica (Figura 23a) encontrada nos ambientes e nas profundidades de solo estudadas são semelhantes, quando analisadas individualmente. No entanto, os teores de matéria orgânica encontrados em Arara foram superiores quando comparados com Areial e Boa Vista, PB. O ambiente de Arara apresentou maior teor de matéria orgânica na profundidade de 0-20cm (Figura 23a), sendo a vegetação da área mais densa em termos de cobertura de solo e copas mais desenvolvidas o que propicia a formação de um ambiente favorável para o aporte e decomposição da serapilheira. Araújo (2007) afirmou que em regiões semiáridas comumente são encontrados solos com baixos teores de matéria orgânica, em parte devido à baixa densidade da vegetação, aliada às elevadas temperaturas, o que provoca um pequeno aporte de compostos orgânicos no ecossistema.

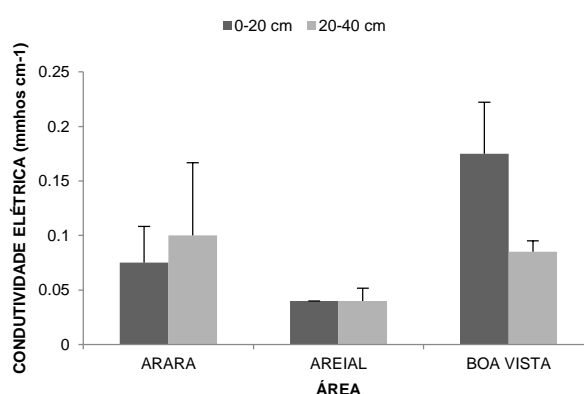
O potencial de hidrogeniônico denota que todos os solos independentes da profundidade de coleta são ácidos ( $\text{pH} < 7,0$ ). De maneira geral o pH apresentou-se diferenciado em valores absolutos nas caatingas estudadas, com diferenças no teor de acidez entre as áreas de Arara e Areial comparados com Boa Vista, endossando uma característica do uso agrícola do solo em um passado não distante nas duas primeiras (Figura 23b). Para Raij (1991), a acidez dos solos se dá devido à pobreza de cátions básicos como cálcio (Ca), magnésio (Mg), potássio (K) e sódio (Na) no material de origem, ou a processos pedogenéticos que favoreceram a perda dos mesmos.

Segundo Corrêa et al. (2003), os valores de pH próximos à neutralidade possivelmente estão relacionados aos altos teores de bases trocáveis e ausência de hidrogênio na presença do alumínio, frequentemente observados em solos de regiões semiáridas.



**Figura 23.** Valores médios de matéria orgânica (a) e pH (b) em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média ( $N = 4$ )

Boa Vista apresentou maior valor para condutividade elétrica (Figura 24a), entretanto não diferiu em relação à Arara (Figura 24). A condutividade elétrica está intimamente relacionada com a salinidade dos solos, uma vez que é um parâmetro utilizado na classificação da salinidade. Segundo Richards (1954), os solos são considerados salinos, quando a condutividade elétrica (CE) do extrato de saturação é maior ou igual a  $4 \text{ dS.m}^{-1}$  e a percentagem de sódio trocável (PST) é menor que 15%, valores estes muito superiores aos encontrados para as áreas de caatinga estudadas, logo as áreas de domínio de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* não apresentaram problemas de salinidade do solo.



**Figura 24.** Valor médio de condutividade elétrica em amostras de solo de áreas de caatinga dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Os traços acima das barras representam o desvio padrão da média (N = 4)

### 3.6 Considerações sobre o Clima e o Solo das Áreas

As áreas de domínio de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* apresentam características climáticas semelhantes (Tabela 15). Areial caracterizou-se por apresentar maior precipitação pluvial durante o período avaliado (679,7mm) e Arara a umidade relativa do ar (83,2%). As temperaturas médias anuais não ultrapassaram os 24°C (Tabela 15). A menor precipitação pluvial foi observada em Boa Vista, PB (443,9mm), seguida da área de Areial 679,7 e Arara 666,1 mm anuais. Em Arara a umidade relativa do ar apresentou-se maior dentre o período de estudo (83,2%) (Tabela 15).

A temperatura e a umidade relativa do ar têm pouca variação ao longo do ano, pelo contrário, a precipitação pluvial apresenta alta variabilidade dentro do mesmo ano e interanual em todos os ambientes avaliados.

**Tabela 15.** Comparativo da precipitação (mm), umidade (%) e temperatura (°C) de três áreas de caatinga do semiárido Paraibano. Dados de dez anos

Áreas	Precipitação (mm)	Umidade (%)	Temperatura (°C)
Arara	666,1 ( $\pm 262,4$ )	83,2( $\pm 4,2$ )	22,5 ( $\pm 1,2$ )
Areial	679,7 ( $\pm 213,2$ )	76,1( $\pm 3,3$ )	23,4 ( $\pm 1,3$ )
Boa Vista	443,9 ( $\pm 183,1$ )	76,1( $\pm 3,3$ )	23,4 ( $\pm 1,3$ )

\*Dados indisponíveis no BDMEP - Instituto Nacional de Meteorologia (2004-2014).

O modelo da ONU, para classificação climática, apresenta-se mais coerente para as características ambientais das fitofisionomias estudadas. Os índices de aridez obtidos pelos modelos de Lang e Meyer não expressam acuradamente as condições do clima dos três ambientes.

As frações texturais, areia, silte e argila, são relativamente semelhantes nas três áreas de estudo, sendo a fração areia mais elevada em Boa Vista, onde foi observada maior riqueza e abundância de espécimes de Cactaceae. Pelo contrário, em Arara, área com maior teor em argila, observou-se reduzido número de espécimes.

Em relação às características químicas dos solos das áreas, o cálcio é o elemento abundantemente encontrado na área em Boa Vista, sendo sua presença está associada a dinâmica hídrica da área e a cobertura do solo. Esse domínio apresentou-se mais conservado dentre as demais e, ao que parece ao longo do tempo a matéria orgânica vem sendo uma das fontes para o aporte de cálcio nesse solo.

Nos solos de Arara e Areial foram encontrados teores de fósforo mais elevados, porém pode ser considerado baixo sob o ponto de vista de fertilidade. De modo geral os teores de matéria orgânica, carbono orgânico foram mais elevados na área de caatinga de Arara e Boa Vista, nomeadamente a área mais conservada e com presença de maior camada de serrapilheira recobrimdo a parte da superfície do solo.

A condutividade elétrica no solo da área em Arara e Boa Vista o mais elevado dentre as demais, indicando ser esta mais suscetível a salinidade. Pese todas as áreas avaliadas apresentarem alumínio no solo, estas não possuem risco de acidez. Todas as áreas de caatinga apresentaram solos eutróficos.



#### 4 CONCLUSÕES

As áreas de domínio de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba são semelhantes em termos da amplitude de variação térmica e de umidade relativa ar, entretando o regime de precipitação pluvial tem alta variabilidade no tempo e no espaço. Os solos das áreas são semelhantes fisicamente e diferentes quimicamente com elevada capacidade de troca catiônica.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, M. J. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. **Austral Ecology** 26: 32-46. 2001.

ANDRADE, A. P.; SOUZA, E. S.; SILVA, D. S.; SILVA, I. F.; LIMA, J. R. S. **Produção animal no bioma caatinga: Paradigmas dos “pulsos-reservas”**. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 43. Anais dos Simpósios. Suplemento especial da Revista Brasileira de Zootecnia. v. 35. 2006.

ARAÚJO, L. V. C. **Composição florística, fitossociologia e influência dos solos na estrutura da vegetação em uma área de caatinga no semi-árido paraibano**. 118 f. 2007. Tese (Doutorado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2007.

ARAÚJO, P. M. D.; OLIVEIRA, M. Variabilidade espacial do cálcio, magnésio, fósforo e potássio em solos das regiões oeste do baixo Açu, Estado do Rio Grande do Norte. **Caatinga**, Fortaleza, v. 26, n. 1/2, p. 69-78, 2003.

ARRUDA, L. V. **Caracterização de ambientes agrícolas e dos principais solos do município de Guarabira-PB**. 2008. 105f. (Tese de Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2008.

BARBOSA, A. S. **Estrutura da vegetação e distribuição espacial de Cactaceae em áreas de Caatinga do Semiárido Paraibano**. 2011. 166f. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) - Centro de Ciências Agrárias. Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2011.

BARRETO, A. C.; LIMA, J. C. P. S.; MIRANDA, M. F. A.; SALDANHA, E. C. M.; FREIRE, M. B. G. S.; FREIRE, F. H. **Fracionamento da matéria orgânica em três argissolos com diferentes usos em Pernambuco**. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E

CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2004. CD-ROM.

BEUTLER A. N.; CENTURION, J. F.; SOUZA, Z. M.; ANDRIOLI, I.; ROQUE, C. G. Retenção de água em dois tipos de latossolos sob diferentes usos. **Revista Brasileira de Ciência Solo**, 26:829-834, 2002.

BDMEP. Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa. Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>> Acessado em 31 de dezembro de 2014.

BRASIL. Ministério da Agricultura. **Levantamento exploratório**: reconhecimento de solos da margem direita do Rio São Francisco no Estado da Bahia. Recife: Sudene, 1977.

BRAY, J.R. & J.T. CURTIS. An ordination of the upland forest communities of Southern Wisconsin. **Ecological Monographs**, 27:325-349. 1957.

CIOTTA, M. N.; BAYER, C.; FONTOURA, S. M. V.;ERNANI, P. R.; ALBUQUERQUE, J. A. Matéria orgânica e aumento da capacidade de troca de cátions em solo com argila de atividade baixa sob plantio direto. **Revista Ciência Rural**, v. 33, n. 6, nov-dez, 2003.

CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; SILVA, P. C. M. E.; VASCONCELOS, A. C. F. Variabilidade de propriedades químicas de um Neossolo Flúvico da Ilha de Picos (Pernambuco). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza. v.37, n.2, p.135-141, 2006.

CHAVES, L. H. G.; CHAVES, I. B.; SILVA, P. C. M. E.; VASCONCELOS, A. C. F. Variabilidade de propriedades químicas de um Neossolo Flúvico da Ilha de Picos (Pernambuco). **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza. v.37, n.2, p.135-141, 2006.

CHAVES, L. H. G.; MENINO, I. B.; ARAÚJO, I. A.; CHAVES, I. B. Avaliação da fertilidade dos solos das várzeas do município de Sousa, PB. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. Campina Grande (PB), v. 2, n. 3, p. 262-267, 1998.

CÔRREA, M. M.; KER, J. C.; MENDONÇA, E. S.; RUIZ, H. A.; BASTOS, R. S. Atributos físicos, químicos e mineralógicos da região das várzeas de Sousa-PB. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 27, p. 311-324, 2003.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Campina Grande, estado da Paraíba**. João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 20 p., 2005a.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Boa Vista, estado da Paraíba**. João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 19 p., 2005b.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Monteiro, estado da Paraíba**. João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 11 p., 2005c.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Manual de métodos de análises de solo**. Rio de Janeiro, 1997. 212p. (Embrapa-CNPS, Documentos, 1).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. Brasília, DF: Embrapa Produção de Informação; Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006. 306 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Serviço Nacional de Levantamento e Conservação de Solos**. Avaliação da fertilidade dos solos do Distrito Federal. Rio de Janeiro, 1980. 11p. (Boletim Técnico 74).

FERREIRA, L. E. **Atributos Químicos do Solo sob o Dossel da Catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.), em Áreas Submetidas a Diferentes Intensidades de Pastejo**. 2011. 66f. (Dissertação de Mestrado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2011.

FIALHO, J. S.; GOMES, V. F. F.; OLIVEIRA, T. S.; SILVA JÚNIOR, J. M. T. Indicadores da qualidade do solo em áreas sob vegetação natural e cultivo de bananeiras na Chapada do Apodi-CE. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza. v.37, n.3, p.250-257, 2006.

FRANCELINO, M. R.; FERNANDES FILHO, E. I.; RESENDE, M. Elaboração de um sistema de classificação da capacidade de suporte em ambiente semi-árido. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 83-91, 2005.

GARIGLIO, M. A.; SAMPAIO, E. V. S. B.; CESTARO, L. A.; KAGEYAMA, P. Y. **Uso sustentável e conservação dos recursos florestais da caatinga**. Brasília: Serviço Florestal Brasileiro, 2010. 368p.

GODÍNEZ-ALVAREZ, H. V. T.; ORTEGA-BAES, P. Demographic trends in the Cactaceae. **Botanical Review**, New York, v. 69, p. 173-203. 2006.

GOVERNO DO ESTADO DA PARAÍBA. **Plano Estadual de Recursos Hídricos. Governo da Paraíba/Secretaria de Estado da Ciência e Tecnologia do Meio Ambiente/Secretaria**

**Executiva da Gestão das Águas do Estado da Paraíba.** Brasília: Consórcio TC/BR, 2006, 112 p.

HAMMER, Ø., HARPER, D.A.T., AND P. D. RYAN, PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. **Palaeontologia Electronica** 4(1): 9pp. 2001.

LOPES, P. M. O.; SILVA, B. S.; VALERIANO, D. M. **Modelagem de processos de ecossistemas em região montanhosa: variabilidade espacial da irradiância.** Anais XI SBSR, Belo Horizonte, Brasil, 05 - 10 abril 2003, INPE, p. 1347 - 1351.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O.C.; ARZOLLA, S.; NETTO, A.C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo.** São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MELLO, F. A. F.; BRASIL SOBRINHO, M. O.C.; ARZOLLA, S.; NETTO, A.C.; KIEHL, J. C. **Fertilidade do solo.** São Paulo: Nobel, 1983. 400 p.

MOTA, J. C. A. **Caracterização física, química e mineralógica, como suporte para o manejo, dos principais solos explorados com a cultura de melão na Chapada do Apodi - RN.** 2004. 96 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição das Plantas) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2004.

NOY-MEIR, I. Desert ecosystems: environment and producers. **Annual Review and Systematics**, v. 4. 25-51. 1973.

PILLAR, V. D. **Clima e vegetação.** UFRGS, Departamento de Botânica. 1995. Disponível em <http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>. Acessado em 10 de outubro de 2011.

PORTA, J.; ACEVEDO, M. L.; ROQUERO, C. **Edafologia para la agricultura y el medio ambiente.** Madrid: Ediciones Mundi-Prensa, 807 p. 1994.

RAIJ, B. V. **Avaliação da fertilidade do solo**. Instituto da Potassa & Fósforo: Instituto Internacional da Potassa, Piracicaba. 142p. 1981.

RAIJ, B. V. **Fertilidade do Solo e Adubação: Acidez e Calagem**. Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fósforo. Piracicaba, SP. p. 343, 1991.

RAMALHO, C. I. **Estrutura da vegetação e distribuição espacial do licuri (*Syagrus coronata* (Mart) Becc.) em dois municípios do centro norte da Bahia, Brasil**. 2008. 131f. (Tese de Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2008.

REINALDO, L. R.; SILVA, E. A. **Caracterização e classificação de solos da mesorregião agreste paraibana, Microrregião de Campina Grande**. In: Anais da 58ª Reunião Anual da SBPC - Florianópolis, SC - Julho/2006.

RICHARDS, L. A. (Ed.). **Diagnosis and improvement of saline and alkali soils**. Washington D.C.: United States Salinity Laboratory Staff, 1954. 160 p. (USDA. Agriculture Handbook, 60).

SALCEDO, I. H. Biogeoquímica do fósforo em solos da região semi-árida do NE do Brasil. **Revista de Geografia**, v. 23, n.3, 2006.

SALCEDO, I. H. Fertilidade do solo agricultura de subsistência: desafios para o semi-árido nordestino. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE FERTILIDADE DO SOLO E NUTRIÇÃO DE PLANTAS, 26.; REUNIÃO BRASILEIRA SOBRE MICORRIZAS, 10.; SIMPOSIO BRASILEIRO DE MICROBIOLOGIA DO SOLO, 8.; REUNIÃO BRASILEIRA DE BIOLOGIA DO SOLO, 5., 2004, Lages. **Anais**. Lages, 2004. CD-ROM.

SECRETARIA DE RECURSOS HÍDRICOS/MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE. **Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação e Mitigação dos Efeitos da Seca**. Disponível em < <http://www.mma.gov.br> >. Acesso em 25/11/07.

TEROSSO, F. R. U.; NAGY, S. C. S.; CAGINI, R. T. F. **Avaliação de parâmetros edáficos em reflorestamento misto com espécies nativas na estação ecológica de Paranapanema, SP.** Departamento de Recursos Naturais/Ciências Ambientais, Faculdade de Ciências Agrônômicas, Campus de Botucatu, SP. s. d.

UNESCO. **World Map of Desertification.** United Nations Educational, Scientific and Cultural Organization. A/Conf. 74/2. Food and Agricultural Organization, United Nations, Rome, Italy. 1977.

ZAPPI, D. C. *Pilosocereus* (Cactaceae). The genus in Brazil. **Succulent Plant Research** 3. 1994.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N. Diversidade e endemismo das Cactaceae na cadeia do Espinhaço. **Revista Megadiversidade**, v. 4 nº1-2, 2008.



### **CAPÍTULO III:**

#### **ESTRUTURA POPULACIONAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

### CAPÍTULO III:

#### **ESTRUTURA POPULACIONAL E DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

##### **RESUMO**

As cactáceas constituem um grupo de plantas de ampla distribuição no Agreste paraibano, muitas espécies possuem valor forrageiro, ornamental e medicinal o que as tornam importantes recursos fitogenéticos para a região. A família apresenta sensibilidade às perturbações antrópicas devido à baixa taxa de crescimento absoluto, crescimento lento, distribuição geográfica restrita e dependência de agentes dispersores na fase reprodutiva. O objetivo do trabalho foi analisar a estrutura de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em caatingas do Agreste da Paraíba. Para o histórico de uso das áreas foi aplicado questionário semiestruturado. Para avaliação populacional, foram realizados levantamentos estruturais nos municípios de Arara, Areial e Boa Vista-PB, totalizando 30.000 m<sup>2</sup> de área amostral. Os espécimes foram amostrados e etiquetados todos os indivíduos, medindo-se a altura e o diâmetro ao nível da base de cada planta. A população foi descrita pela área basal, densidade (DA), frequência (FA) e dominância (DoA) absoluta. Utilizou-se o algoritmo de Função de Base Radial no aplicativo SURFER<sup>®</sup> para prever a distribuição espacial da espécie. Foram amostrados 124 indivíduos adultos e 12 em regeneração natural na área de Arara, (N=136 ind.; DA=136 ind.ha<sup>-1</sup>); 179 indivíduos adultos e 91 em regeneração em Areial (N=270 ind.; DA=270 ind.ha<sup>-1</sup>); 169 em fase adulta e 3 em regeneração em Boa Vista, PB (N=172 ind.; DA=172 ind.ha<sup>-1</sup>). A população de Arara apresentou área basal (AB=3.52 m<sup>2</sup>) superior de Areial (AB=2.10 m<sup>2</sup>), que por sua vez foi inferior a AB quando comparada com a população de Boa Vista e Arara (AB= 3.82 m<sup>2</sup>). Em ambas as áreas de caatinga os espécimes apresentaram tendência ao agrupamento, ao que parece as populações estudadas apresentam-se espacialmente sob forma de pequenos núcleos. Os espécimes de Areial, área com maior grau de antropização, encontram-se menos desenvolvidos em relação ao diâmetro caulinar e altura total quando comparados aos de Arara e Boa Vista, PB, áreas mais conservadas. As populações apresentam similaridade em termos de distribuição espacial, contudo a antropização das áreas de caatinga afeta estruturalmente as populações de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis*

**PALAVRAS-CHAVE:** Bioma; Facheiro; Semiárido.

### CHAPTER III:

#### POPULATION STRUCTURE AND SPATIAL DISTRIBUTION OF *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

##### ABSTRACT

The cacti are a group of plants widely distributed in the *Agreste* of Paraíba, many species have forage, ornamental and medicinal value which makes them important plant genetic resources for the region. The family has a sensitivity to human disturbance due to low absolute growth rate, slow growth, restricted range and reliance on dispersal agents during the reproductive stage. The objective was to analyze the structure of *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi in the caatingas of the *Agreste* in Paraíba. For the areas, historic use it was applied a semi structured questionnaire. For the populational assesment, surveys were made in the towns of Arara, Areial and Boa Vista-PB, using 30,000m<sup>2</sup> sampling area. Were sampled and tagged all individuals, by measuring the height and base diameter level of each plant. The population was described by the basal area, density (DA), frequency (FA) and absolute dominance (DoA). We used the Radial Basis Function algorithm in SURFER<sup>®</sup> application to predict the spatial distribution of species in the studied areas. It was sampled 124 adults and 12 in natural regeneration in Arara (N = 136 ind.ha<sup>-1</sup>; DA = 136 ind.ha<sup>-1</sup>); 179 adults and 91 in regeneration in the Areial area (N = 270 ind.ha<sup>-1</sup>; DA = 270 ind.ha<sup>-1</sup>); 169 in adulthood and 3 in regeneration in the Boa Vista, PB area (N = 172 ind.ha<sup>-1</sup>; DA = 172 ind.ha<sup>-1</sup>). The population in Arara presented basal area (AB = 3.52 m<sup>2</sup>) higher than Areial (AB = 2.10 m<sup>2</sup>), which in turn was less than AB compared with the Boa Vista and Arara (AB = 3.82 m<sup>2</sup>). In both areas of *caatinga* specimens tended to cluster, it seems the populations studied are presented spatially in the form of small nuclei. The specimens of Areial, area with the highest degree of human disturbance, are less developed compared to the stem diameter and total height when compared to Arara and Boa Vista, PB, more conserved areas. The populations have similarity in terms of spatial distribution, yet anthropization of *caatinga* areas structurally affects *P. catingicola* subsp. *Salvadorensis* populations.

**KEYWORDS:** Biome; Facheiro; Semiarid.

## 1 INTRODUÇÃO

A família Cactaceae distribui-se por toda a região da América Tropical com aproximadamente 1.900 espécies, das quais 300 estão distribuídas em 100 gêneros (ARECES, 2004). Apenas a espécie *Rhipsalis baccifera* ocorre naturalmente na África Tropical e no Sri Lanka. Subdividida em três subfamílias: *Pereskioideae*, *Opuntioideae* e *Cactoideae* (NYFFELER, 2002), seus espécimes possuem ampla adaptação aos ambientes áridos e semiáridos continentais, Barthlott (1993) as descreve como árvores perenes, arbustos ou trepadeiras, apresentando caule suculento e adaptações tanto morfológicas quanto na estrutura floral, com diferentes tipos de sistemas de polinização.

O Brasil é considerado o terceiro maior centro de diversidade de Cactaceae, com aproximadamente 200 espécies (SOUZA *et al.*, 2005) a caatinga é apontada como centro de diversidade da tribo *Cereeae*, sendo o centro norte do México e região semiárida do Oeste dos Estados Unidos caracterizados pelas tribos *Cactae* e *Pachycereeae*. Na América do Sul está situado na região Andina, região ocupada por parte do Peru, Bolívia, Chile e Argentina caracterizado pelos representantes *Browningieae*, *Notocactaeae* e *Trichocereaeae* (BARTHLOTT e HUNT, 1993).

O facheiro pertence ao gênero *Pilosocereus* encontrado no México e na América do Sul, pertencente à subfamília *Cactoideae*, tribo *Cereeae*. O gênero *Pilosocereus* Byles & Rowley, compreende a 36 espécies neotropicais de ocorrência no Brasil com aproximadamente 26 espécies, distribuídas na caatinga, rochas, afloramentos rochosos, florestas de espinho, agrestes e nos campos rupestres do Planalto Brasileiro (ZAPPI, 1994). Segundo Zappi (2008) de 160 cactáceas ocorrentes em nosso país, 42 espécies, representando 26% da família ocorrem nos campos rupestres, ao passo que 31% estão distribuídas na caatinga.

Na caatinga do agreste da Paraíba, Barbosa (2011) identificou a ocorrência de duas espécies, a *Pilosocereus pachycladus* e *Pilosocereus piauhyensis* [(Gürke) Byles & G. D. Rowley], sendo conhecidas por facheiro e facheiro dourado, respectivamente, ambas espécies caracterizadas pela abundância de pilosidades ao redor dos espinhos e florescimento nas aréolas próximas ao caule, com antese noturna sendo polinizados por morcegos durante a estação seca (ANDERSON, 2001). Essas espécies possuem sensibilidade às perturbações ambientais, sobretudo àquelas causadas por intervenções antrópicas, uma vez que possuem longos ciclos de vida, baixa taxa de crescimento individual, distribuição geográfica restrita, como também a dependência de outros organismos na sua fase reprodutiva (GODÍNEZ-ALVAREZ e

ORTEGA–BAES, 2006), não obstante podem ser ameaçadas pelo comércio internacional não legalizado, coleta ilegal e a modificação de seu habitat.

As cactáceas nativas, sobretudo o gênero *Pilosocereus*, necessitam de estudos que possam demonstrar os padrões de dispersão, as relações com o ambiente em que vivem sobretudo na capacidade de adaptação e resiliência aos ambientes ora antropizados, por se tratarem de um recurso fitogenético regional de importância para os nichos ecológicos dos fragmentos de caatinga remanescentes.

Estudos abordando padrões de distribuição de cactáceas foram empreendidos (HERNÁNDEZ e BÁRCENAS, 1995; MOURELLE e EZCURRA, 1997; GUERRERO et al., 2008; SANTOS, 2010), entretanto, são tímidos os dessa natureza com espécies da caatinga nordestina, ou quando realizados no leste do Brasil procuraram correlacionar o desenvolvimento das espécies com as variáveis ambientais, entretanto não contemplaram a avaliação *in locus* de populações em áreas da caatinga onde os espécimes se encontravam. Tais estudos passam necessariamente pela predição do comportamento estrutural e espacial dos espécimes nas respectivas populações vegetais (LUNDBERG e INGVARSSON, 1998; LEITE, 2001).

Esses caminhos investigativos são importantes para elucidar os mecanismos de adaptação da espécie ao seu ambiente natural, conhecer melhor o comportamento dessas populações e estabelecer programas futuros de conservação.

Neste sentido, o objetivo do trabalho foi analisar estruturalmente e espacialmente populações de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga do Agreste da Paraíba, Brasil.

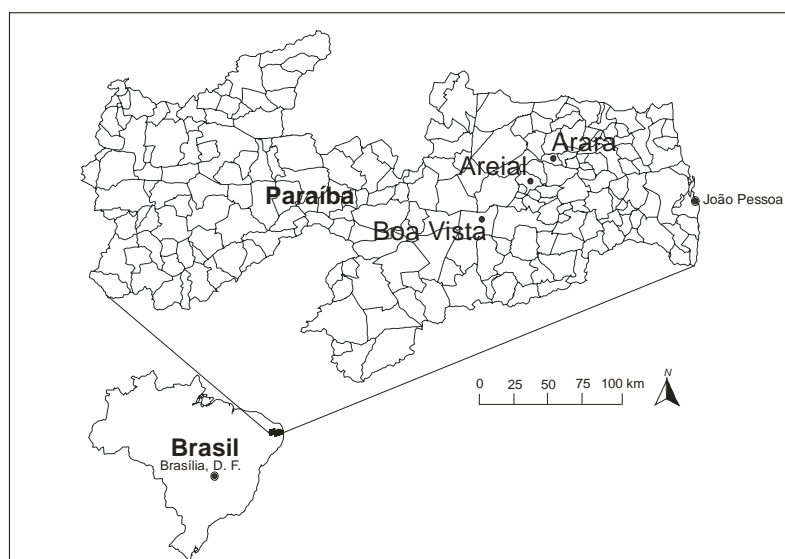
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Áreas de Estudo

O levantamento populacional foi realizado em três fragmentos florestais de caatinga localizados nos municípios de Arara (25 M 192007 9243179 UTM), Areial (25 M 175834 9218837 UTM) e Boa Vista (24 M 698981 9133272 UTM), localizados em diferentes fitofisionomias na mesorregião Agreste Paraibano (Figuras 1 e 2). Os ambientes foram escolhidos pela ocorrência natural de populações de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* e pela observação de que as caatingas apresentam características sucessionais, ou seja, passaram por alguma alteração ao longo do tempo e atualmente encontram-se em processo de sucessão ecológica.



**Figura 1.** Áreas de domínio de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em Arara, Areial e Boa Vista (respectivamente), Agreste do estado da Paraíba, Brasil



**Figura 2.** Localização geográfica das áreas de domínio de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil

A área de caatinga de Arara está localizada na mesorregião do Agreste paraibano, com altitude aproximada de 467 metros, inserida no Planalto da Borborema formada por maciços e outeiros altos, com presença de NEOSSOLOS com fertilidade variada entre média e alta (CPRM, 2005a). O clima é tropical chuvoso e verão seco, com precipitação pluvial média anual de 666.13 mm. Essa caatinga apresenta-se em processo de sucessão intermediária, uma vez que o corte seletivo de madeira, pastejo do gado bovino durante a estação seca ainda constituem copONENTES de uso da área.

A área de Areial insere-se também no Agreste da Paraíba e encontra-se sobre Planalto da Borborema, com clima tropical chuvoso e verão quente e seco com chuvas de janeiro a outubro, sendo a precipitação pluvial média anual de 679,7 mm. Apresenta solos ligeiramente ondulados com presença de PLANOSSOLOS, fortemente drenados, moderadamente ácidos e fertilidade natural média a alta (CPRM, 2005b). Essa caatinga apresenta-se como uma das mais antropizadas, em virtude da fragmentação da vegetação remanescente e formação de “ilhas” de populacionais. Em boa parte da área observa-se aberturas para o cultivo de culturas anuais, bem como a utilização dos recursos vegetais para o pastejo dos rebanhos bovino, asininos e muares.

A caatinga de Boa Vista apresenta fertilidade do solo de média a alta, a formação vegetal apresenta-se em nível intermediário de sucessão ecológica, clima tropical chuvoso e verão quente e seco. A precipitação pluvial média anual é de 443,93 mm, caracterizando como a caatinga mais xérica dentre as áreas estudadas. A superfície dos solos é suavemente ondulada com formação de PLANOSSOLOS medianamente profundos com fertilidade média, fortemente drenados e acidez moderada. Há presença de Podzólicos profundos de textura argilosa com fertilidade natural média. Há vales com presença de planossolos mal drenados e afloramento de rochas ao longo da paisagem (CPRM, 2005c). Apesar de ser uma área utilizada para pastejo eventual de gado bovino e retirada de lenha, há trechos da caatinga de Boa Vista que se apresenta como mais conservados em comparação as demais áreas.

As caatingas foram escolhidas por apresentarem características de formações florestais em processo de sucessão ecológica e tendo *Pilosocereus* spp. como uma das espécies de maior valor de importância ecológica para essas comunidades vegetais (BARBOSA, 2011). Embora todas as áreas serem antropizadas, é possível encontrar micromosaicos vegetacionais mais conservados o que os tornam importantes como berçários comunitários na manutenção da resiliência desses ambientes.

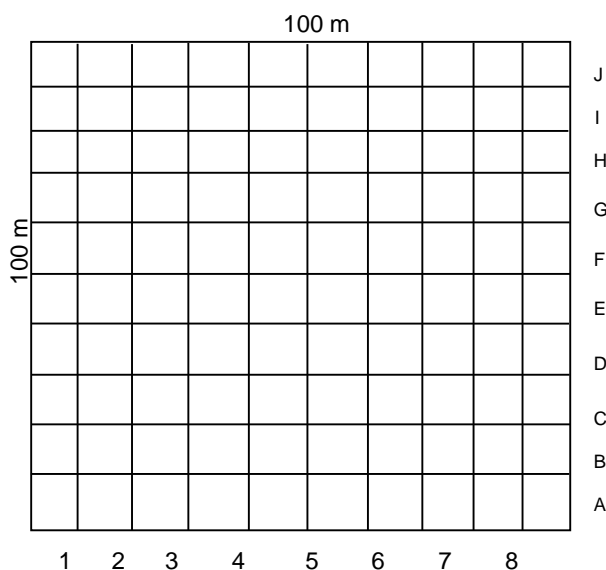
## 2.2 Aplicação de Questionário Semiestruturado

A aplicação do roteiro, contendo 28 perguntas, foi baseado no trabalho de Comin (2007), versando questões socioeconômicas, culturais e ambientais (Apêndice 1). Foram aplicados oito questionários endereçado aos produtores residentes próximos das áreas de caatinga estudadas. A aplicação deu-se obedecendo tendo como referência central o fragmento de caatinga e dos moradores situados na porção norte, sul, leste e oeste da área.

A finalidade foi de verificar a representação "ecológica" do olhar dos habitantes locais sobre o ambiente com ênfase no uso e ocupação do solo e da utilização de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi.

## 2.3 Coleta de Dados e Estrutura Horizontal

O método utilizado foi o de parcelas contíguas (MULLER-DOMBOIS; ELLEMBERG, 1974; RODAL et al., 1992; RAMALHO, 2008; BARBOSA, 2011) em área de um hectare (Figura 3). Esse método vem sendo utilizado para o estudo da caatinga, e permite inferências mais apropriadas para determinados aspectos da vegetação em estudo, como exemplo a distribuição espacial de populações. A três áreas foram divididas em 100 parcelas de 10mx10m totalizando uma área amostral de 30.000m<sup>2</sup>.



**Figura 3.** Croqui de distribuição das parcelas nos fragmentos de caatinga estudados - Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba



Em cada parcela foram amostrados e etiquetados com placas de alumínio todos os indivíduos da população. Foi mensurada a altura do caule principal com o auxílio de uma vara tubular graduada de todos os indivíduos e circunferência foi auferida ao nível da base (DNB), com auxílio de suta dendrométrica (Figura 4).



**Figura 4.** Etapas do levantamento populacional de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nas áreas de caatinga de Arara, Areial e Boa Vista, Paraíba

O processamento dos dados quantitativos da população para obtenção dos valores de estrutura horizontal foi realizado por meio do programa *Microsoft Office® – Excel* 2010. A população foi descrita pela densidade absoluta (DA), frequência absoluta (FA), área basal (AB), dominância absoluta (DoA) e índice de agregação de McGuinness (IGA) de acordo com os descritores estruturais:

**Densidade (D):** Medida que expressa o número de indivíduos da espécie por unidade de área, normalmente em hectare.

**Densidade Absoluta (DA<sub>i</sub>):** é a medida que expressa o número de indivíduos da espécie por unidade de área.

$$DA_i = \frac{N_i}{A}$$

Onde:

DA<sub>i</sub> = Densidade Absoluta da espécie i

N<sub>i</sub> = Número de indivíduos da espécie i

A = Área amostrada em hectare

**Frequência (F):** Número de parcelas em que a espécie ocorre.

**Frequência Absoluta (FA<sub>i</sub>):** é expressa em percentagem, a relação entre o número de parcelas ou pontos que ocorre a espécie e o número total de amostras.

$$FA_i = \left( \frac{P_i}{P_t} \right) \cdot 100$$

Onde:

FA<sub>i</sub> = Frequência Absoluta da espécie i

P<sub>i</sub> = Número de parcelas com ocorrência da espécie i

P<sub>t</sub> = Número total de parcelas

**Dominância (Do):** é definida como a taxa de ocupação do ambiente pelos indivíduos da espécie, representada pela área basal, estimada com base no diâmetro ao nível do peito (DAP) ou ao nível do solo (DNS).

**Dominância Absoluta (DoA<sub>i</sub>):** é dada a partir da somatória da área basal dos indivíduos de cada espécie, dividido pela área total amostrada.

$$DoA_i = \frac{\sum_{i=1}^n Ab_i}{A}$$

Onde:

DoA<sub>i</sub> = Dominância Absoluta da espécie i (m<sup>2</sup> hectare<sup>-1</sup>)

∑AB<sub>i</sub> = Área Basal da espécie i (m<sup>2</sup>)

A = Área total amostrada (hectare)

**Índice de Agregação de McGuinnes (IGA):** A determinação do índice de agregação ou índice de McGuinnes foi realizada através da equação:

$$IGA = D/d$$

Onde:

D = número total de indivíduos da espécie/número total de parcelas alocadas

d = -ln (1-FA/100) (ln = logaritmo neperiano e FA = Frequência Absoluta)

A descrição da distribuição espacial das populações de acordo com o IGA é interpretada como se segue: em IGA<1,0, a distribuição é uniforme; em IGA=1,0, a distribuição é aleatória; em IGA>1,0 e <2,0 há uma tendência ao agrupamento e em IGA>2,0 ocorre agregação.

Os dados relacionados ao diâmetro e altura foram analisados a partir da elaboração de histogramas de distribuição de frequência de classes. A análise da distribuição em diâmetros permite inferir sobre a dinâmica das comunidades de populações vegetais (SCOLFORO et al.,

1998; PULZ et al., 1999), e neste sentido sua interpretação em histogramas de frequência pode elucidar as possíveis perturbações passadas sofridas pelas populações e permitir estratégias para o uso sustentável destas numa perspectiva futura. Os histogramas foram elaborados com auxílio do programa BioEstat 5.0 (AYRES et al. 2007).

## **2.4 Identificação do Material Botânico**

Para a identificação do material foram coletadas partes morfológicas da espécie com presença aparente de descritores reprodutivos. O material foi acondicionado em estufa por 48 horas, em seguida foram preparadas as exsiccatas, em seguida enviadas para o “Herbário Jayme Coelho de Moraes” (EAN-UFPB), para comparação com exsiccatas que fazem parte da coleção do herbário, como também, foram feitas comparações com materiais por meio de literatura especializada. A sinonímia e a grafia dos táxons foram atualizadas mediante consulta ao índice de espécies do banco de dados Tropicos<sup>®</sup> do *Missouri Botanical Garden*, Saint Louis, MI, EUA.

## **2.5 Estrutura Espacial e Análise Estatística**

Os mapas de isolinhas de distribuição espacial em relação ao número de indivíduos por caatinga, diâmetro do caule e altura total foram produzidos com auxílio dos aplicativos *Microsoft Office*<sup>®</sup> – *Excel* 2010, *SURFER*<sup>®</sup> v. 8 (*Golden software*, Colorado, EUA) e *Corel DRAW*<sup>®</sup> v. X4, para a tabulação dos dados iniciais, modelagem e auferimento do grau de domínio da espécie em cada um dos ambientes, respectivamente.

Com auxílio de um GPS *Garmin*<sup>®</sup> *eTrex Venture*<sup>®</sup> HC foram coletadas as coordenadas de cada espécime em cada área de caatinga. O equipamento foi configurado para SAD-69 (Datum Sul Americano) e modo de coordenadas adotada foi o UTM (*Universal Transverse Mercator*). As coordenadas foram importadas para o computador com auxílio do aplicativo *MapSource Garmin*<sup>®</sup>, em seguida os bancos de dados foram compilados no *Microsoft Office*<sup>®</sup> – *Excel* 2010.

Após verificação da ausência de correlação a curta distância pelos semivariogramas das variáveis consideradas neste trabalho, a heterogeneidade espacial e das variáveis foi

caracterizada pela estatística clássica, considerando que as observações são estatisticamente independentes umas das outras. No aplicativo *SURFER*® a conversão dos dados numéricos para a malha base e plotagem dos mapas foi utilizado realizado por meio do algoritmo de Função de Base Radial (*Radial Basis Function*). O valor a ser interpolado para qualquer ponto da malha foi estimado por:

$$G_{ij} = \sum_{i=1}^{N_{pt}} W_{ij} Z_i$$

Onde:

$G_j$ =Valor do estimador para o ponto j  
 $N_{PT}$ =Número de pontos usados para a interpolação  
 $Z_i$ =Valor estimado no ponto i com valor conhecido  
 $w_{ij}$ =Peso associado ao valor estimado i

No algoritmo de função de base radial, os pesos são variáveis de acordo com a função básica. A função básica ( $B(L)$ ), neste contexto, é uma função real de  $L$  (distância (raio) a partir da origem) (RAMALHO, 2008). Uma das funções mais utilizada é a multiquádrica, representada pela equação (CARLSON; FOLEY, 1991):

$$B(L) = \sqrt{L^2 + R^2}$$

Onde:

$B(L)$ =Função de ponderação do método Multiquadrático  
 $R^2$ =Parâmetro suavizador especificado pelo usuário

Os mapas de distribuição especial de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* foram elaborados na perspectiva de comparar a distribuição dos espécimes em cada uma das tipologias de caatinga e, neste sentido observar as possíveis variações do comportamento destes e produzir informações sobre a ecologia e a conservação da espécie para a região.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Histórico do Uso e Conservação Ambiental das Áreas

Os produtores da área Arara vivem pelo menos há mais de 30 anos na propriedade em sua maioria não alfabetizados. As comunidades rurais constituem de pequenos aglomerados compostos por até duas famílias e não ultrapassando cinco integrantes do seio familiar. São encontrados riachos temporários, contudo estes são desprovidos de vegetação ciliar. As famílias armazenam água em forma de barreiros, cisternas e açudes. A ocupação do solo é feita por benfeitorias, culturas anuais, granjas e culturas perenes, sendo a maior parte ocupado pelo fragmento de caatinga. Os moradores desconhecem práticas de manejo de solo e a pecuária caprina e bovina é comum ser praticada dentro da vegetação nativa, sobretudo no período de estiagem.

O principal uso para da vegetação nativa dá-se a retirada de lenha e produção de estacas. Os moradores citaram a existência de raposa (*Vulpes* sp.), gato-do-mato (*Felis* sp.), gambá (*Didelphis* sp.), cobras (*Crotalus* sp.), sagui (*Callithrix* sp.), tejú (*Tupinambis* sp.), preá (*Cavia* sp.), rolinha (*Columbina* sp.), contudo a onça (*Panthera* sp.) e o tejú não são mais vistos atualmente na vegetação.

Os recursos vegetais citados foram o marmeleiro (*Croton* spp.), juá (*Ziziphus* spp.), facheiro (*Pilosocereus* spp.), pereiro (*Aspidosperma* sp.), jucá (*Caesalpinia* sp.), cardeiro (*Cereus* sp.), baraúna (*Schinopsis* sp.), algaroba (*Prosopis* sp.), caruá (*Neogasiovia* sp.), palmatória (*Tacinga* spp.), macambira (*Bromelia* sp.), aveloz (*Euphorbia* sp.) e sabiá (*Caesalpinia* sp.). Contudo a baraúna foi apontada como praticamente escassa, não sendo encontrada com frequência na área. O uso do facheiro dá-se por meio da alimentação animal, sobretudo de pequenos e grandes ruminantes, assume importância como fonte de lenha e na utilização como cobertura de habitações, para além do consumo do fruto na forma *in natura*.

Todos os entrevistados em Areial residem na vizinhança do fragmento de caatinga, sendo as famílias compostas por até três grupos com no máximo dez indivíduos por família, sendo portanto famílias maiores em relação à Arara, PB. Os moradores apresentam ensino fundamental incompleto e moram há pelo menos quarenta anos na região. A vegetação nativa assume importância como fonte de lenha, produção estacas e mourões bem como com complementação forrageira para o gado bovino durante a estação seca.

As espécies vegetais mais utilizadas são burra leiteira (*Sapium* sp.), amburana (*Amburana* sp.) e jurema (*Mimosa* sp.), estas por sua vez assumem importância como combustível sólido. Foram informados ainda a presença de espécies como raposas (*Vulpes* sp.), sagui (*Callithrix* sp.), peba (*Euphractus* sp.), preá (*Cavia* sp.), lambú, galo-de-campina, coruja (*Athene* sp.), cobra (*Crotalus* sp.) e golado. E como espécies pouco frequentes foram citadas o guarchinim (*Procyon* sp.) e o xexéu.

O juazeiro (*Ziziphus* sp.), facheiro (*Pilosocereus* sp.), cardeiro (*Cereus*), coroa-de-frade (*Melocactus* sp.), amburana (*Amburana* sp.), pau darco (*Tabebuia* sp.), umbuzeiro (*Spondias* sp.), macambira (*Bromelia* sp.), tambô (*Entorolobium* sp.) e o cajueiro (*Anacardium* sp.), foram citados como recursos vegetais mais utilizados. Sendo o jucuri, aroeira (*Myracrodruon* sp.) e o côco de catolé (*Syagrus* sp.) apontadas como espécies pouco frequentes ou praticamente inexistentes atualmente. Ao longo dos anos a população de facheiro vem aumentando segundo informações dos moradores e seu uso dá-se na alimentação animal e consumo do fruto na *in natura*.

A caatinga de Boa Vista é povoada por quatro grupos familiares composto por dez pessoas, em sua maioria não alfabetizados e com ensino fundamental completo. Todos demonstraram desconhecimento sobre as práticas de manejo dos solos e da vegetação. Basicamente, utilizam a catingueira (*Poincianella* sp.), jurema (*Mimosa* sp.) e baraúna (*Schinopsis* sp.) como fonte de lenha.

As espécies de galo-de-campina, rolinha (*Columbina* sp.), gato-do-mato (*Felis* sp.), tacaca (*Didelphis* sp.), e sariema (*Cariama* sp.) contudo o gato-do-mato, canário (*Sicalis* sp.) e tamanduá (*Myrmecophaga* sp.), foram apontados como praticamente extintos.

Os moradores relataram a presença das espécies de aroeira (*Myracrodruon* sp.), marmeleiro (*Cratogeomys* sp.), catingueira (*Poincianella* sp.), embiratanha (*Pseubombax* sp.), baraúna (*Schinopsis* sp.), pereiro (*Aspidosperma* sp.), facheiro (*Pilosocereus* sp.), emburana (*Amburana* sp.), palmatória (*Tacinaga* spp.), cardeiro (*Cereus* sp.), xique-xique (*Pilosocereus* sp.), umbu (*Spondias* sp.), pau leite (*Sapium* sp.), velame (*Croton* sp.), mororó (*Bauhinia* sp.) e burra leiteira (*Sapium* sp.). Sendo a faveleira (*Cnidioscolus* sp.) e bom nome (*Maytenus* sp.) apresentaram redução acompanhado com o aumento do número de *P. pachycladus* ao longo dos anos. Os produtores utilizam essa espécie como fonte para a alimentação animal, utilidade conservacionista e recurso madeireiro local para produção de estacas e cobertura de habitações.

### 3.2 Identificação do Material Botânico

As plantas foram identificadas como pertencentes ao gênero *Pilosocereus* e a espécie *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter (Cactaceae). Todavia, este material foi revisado por especialistas e trata-se de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi. O material foi tombado no Herbário Jayme Coelho de Moraes com a seguinte ordem: 1º) Tombamento nº 20101, Areial – PB, 84, 05/11/2013; 2º) Tombamento nº 20102, Arara – PB, 02, 15/12/2013; 3º) Tombamento nº 20102, Boa Vista – PB, 57, 05/11/2013.

### 3.3 Estrutura Horizontal das Populações

Foram amostrados 124 indivíduos adultos e 12 em regeneração natural na área de Arara (N=136 ind.; DA=136 ind.ha<sup>-1</sup>); 79 indivíduos adultos e 91 em regeneração natural em Areial (N=270 ind.; DA=270 ind.ha<sup>-1</sup>) e 69 em fase adulta e 3 em regeneração natural na área de Boa Vista (N=172 ind.; DA=172 ind.ha<sup>-1</sup>) (Tabela 1). A população em Arara apresentou área basal (AB=3.52 m<sup>2</sup>) superior de Areial (AB=2.10 m<sup>2</sup>), que por sua vez foi inferior a AB da população de Boa Vista (AB= 3.82 m<sup>2</sup>) e Arara (Tabela 1 e Figura 5). Neste sentido a taxa de ocupação da espécie em Boa Vista distingue-se dentre as demais, característica associada ao estágio ontogenético avançado dos espécimes na área.

**Tabela 1.** Estrutura horizontal de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nas áreas de caatinga do estado da Paraíba, Brasil

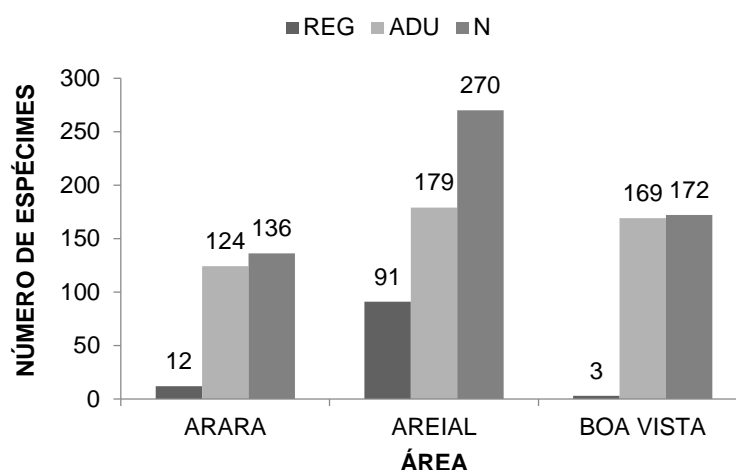
ÁREA	S	NP	REG	ADU	N	NPE	AB	DA	FA	DoA
Arara	1	100	12	124	136	70	3,52	136	70	3,52
Areial	1	100	91	179	270	83	2,10	270	83	2,10
Boa Vista	1	100	3	169	172	79	3,82	172	79	3,82

S = área em amostral em ha; NP = número de parcelas; REG = indivíduos regenerantes; ADU = indivíduos adultos; N = número de indivíduos; NPE = número de parcelas de ocorrência da espécie; AB = área basal em m<sup>2</sup>; DA = densidade absoluta (ind.ha<sup>-1</sup>); FA = frequência absoluta (%); DoA = dominância absoluta.

Em termos absolutos a regeneração natural ocorre efetivamente em Areial (Figura 5). Essa caatinga foi tida como uma das mais antropizadas representada pela redução no tamanho

da vegetação nativa, com fragmentação da vegetação representada por pasto nativo, culturas anuais e elevada densidade demográfica da espécie.

Neste sentido, Ribeiro (2011) demonstrou o caráter oportunista da espécie em áreas antropicamente perturbadas, sendo essa relação associada a condições de solo favoráveis, no entanto quando a perturbação atinge a predação dos agentes polinizadores essa relação é invertida, o que não foi observado nessa área.



**Figura 5.** Comparativo das populações nas áreas de estudo sobre o total de indivíduos amostrados e o quantitativo de regenerantes e adultos (REG = indivíduos regenerantes; ADU = indivíduos adultos; N = número de indivíduos)

As populações apresentaram tendência ao agrupamento (IGA=1.13; 1.52 e 1.10, para Arara, Areial e Boa Vista, respectivamente) (Tabela 2). De acordo com Janzen (1976) a tendência ao agrupamento e a agregação são comuns para espécies que possuem síndromes de dispersão zoocórica e autocórica. Quirino (2006) estudando síntromes de dispersão na caatinga comentou que a dispersão de algumas cactáceas é ornitocórica. Possivelmente, esse padrão de distribuição associa-se às espécies locais ornitófilas, e isso pode estar intimamente relacionado com o padrão dispersivo da espécie.



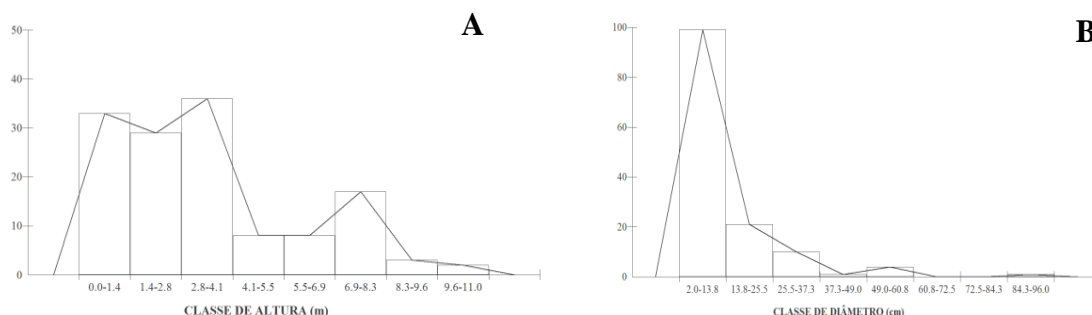
**Tabela 2.** Estrutura horizontal de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nas áreas de caatinga do estado da Paraíba, Brasil

ÁREA	D	d	IGA	Classificação do IGA
Arara	1.36	1.20	1.13	Tendência ao Agrupamento
Areial	2.7	1.77	1.52	Tendência ao Agrupamento
Boa Vista	1.72	1.56	1.10	Tendência ao Agrupamento

D = número total de indivíduos da espécie/número total de parcelas alocadas; d =  $-\ln(1-FA/100)$  (ln = logaritmo neperiano e FA = Frequência Absoluta); IGA = Índice de Agregação de McGuinness

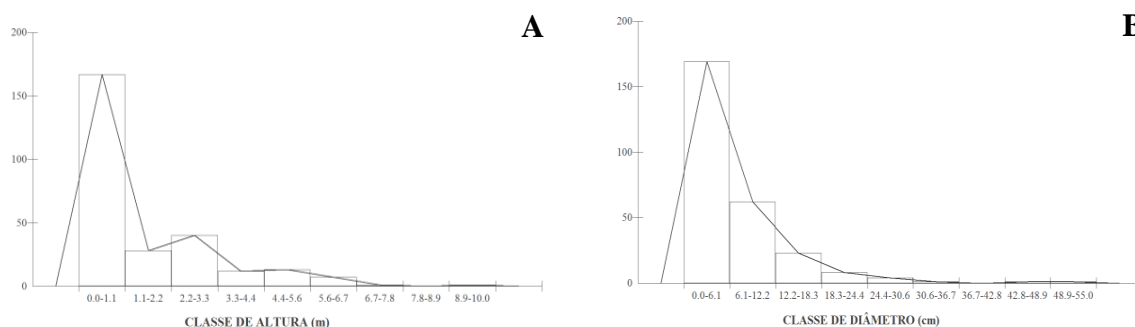
Os espécimes de Arara, em sua maioria, demonstraram diâmetro caulinar reduzido, típico de populações em sucessão, esses indivíduos garantirão a resiliência da população se não forem observadas a acentuação da retirada vegetal da área bem como a preservação dos polinizadores e dispersores da espécie. A juvenilidade da população possivelmente pode estar associada a retirada predatória das matrizes para a alimentação animal na estação seca, e neste sentido interferindo no equilíbrio etário da população. Espécimes com reduzido diâmetro caulinar ocorrem em sua grande maioria (73,5%), os quais não ultrapassam 13,6 cm (Figura 6a). O número de espécimes em fase juvenil supera preponderantemente os adultos, caracterizando a não homeostase da população.

A estrutura hipsométrica dos indivíduos em Arara (Figura 6b) acompanha seu desenvolvimento caulinar, verificou-se indivíduos com altura entre 1,3m a 2,6m, considerado reduzido para a espécie. Os indivíduos com até 5m de altura são considerados jovens ou em fase de desenvolvimento, podendo atingir até 10m de altura. O fato do grande número de plantas estarem em tamanho considerado juvenil, está intimamente relacionado às interferências externas, refletindo em intervenções humanas ou naturais que podem comprometer os estádios ontogenéticos da espécie.



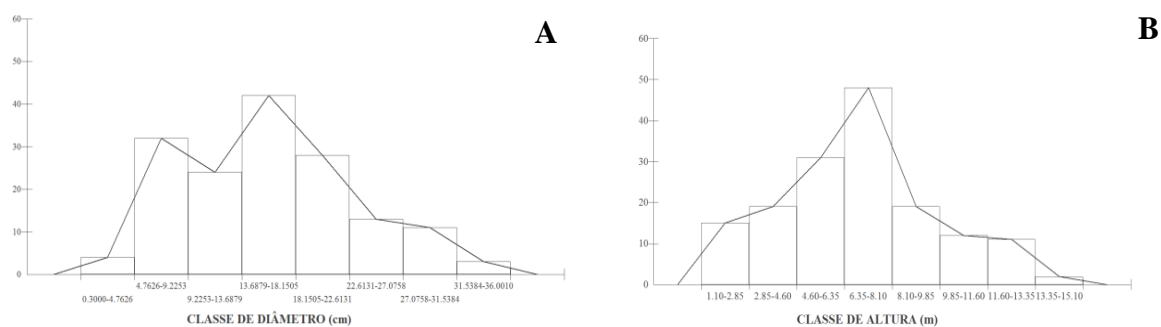
**Figura 6.** Estrutura hipsométrica (a) e diamétrica (b) da população de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Arara-PB

Em Areial, cerca de 160 indivíduos apresentaram altura com até 1,1m (Figura 7a), compondo cerca de 75% dos indivíduos estão recrutando a população, confirmando a possibilidade da perpetuação da espécie no ambiente. A estrutura diamétrica apresenta-se com a mesma tendência ao perfil hipsométrico, a três quartos da população apresenta diâmetro diminuto, não ultrapassando 6,1 cm (Figura 7b). Dada às características da vegetação é possível suportar que o elevado nível de regeneração da espécie pode-se configurar num caráter oportunista da população, conforme observado por Ribeiro (2011).



**Figura 7.** Estrutura diamétrica (a) e hipsométrica da população de facheiro [(*Pilosocereus cattingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi)] numa caatinga do município de Areial-PB

Em Boa Vista, caatinga mais conservada, a população demonstrou estrutura diamétrica e hipsométrica típica de uma curva de normalidade, demonstrando o prevaecimento de espécimes em fase adulta (Figura 8a e 8b). A estrutura diamétrica apresenta-se bem distribuída assim como a estrutura hipsométrica, acompanhando as os estádios ontogenéticos dos espécimes, com aporte de indivíduos em fase reprodutiva com cerca de 18cm de diâmetro e altura entre 6 e 8m. Tal característica assegura o aporte de propágulos para o recrutamento de novos indivíduos na população. Apesar da existência de locais mais conservados, mais recentemente com a introdução do pastejo de bovinos e caprino controlado nessa área, observou-se a derrubada de espécimes e predação de outros, podendo configurar-se como um dos fatores na predação dos indivíduos e em consequência afetar o recrutamento da população.



**Figura 8.** Estrutura diamétrica (a) e hipsométrica (b) da população de facheiro [(*Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi)] numa caatinga no município de Boa Vista-PB

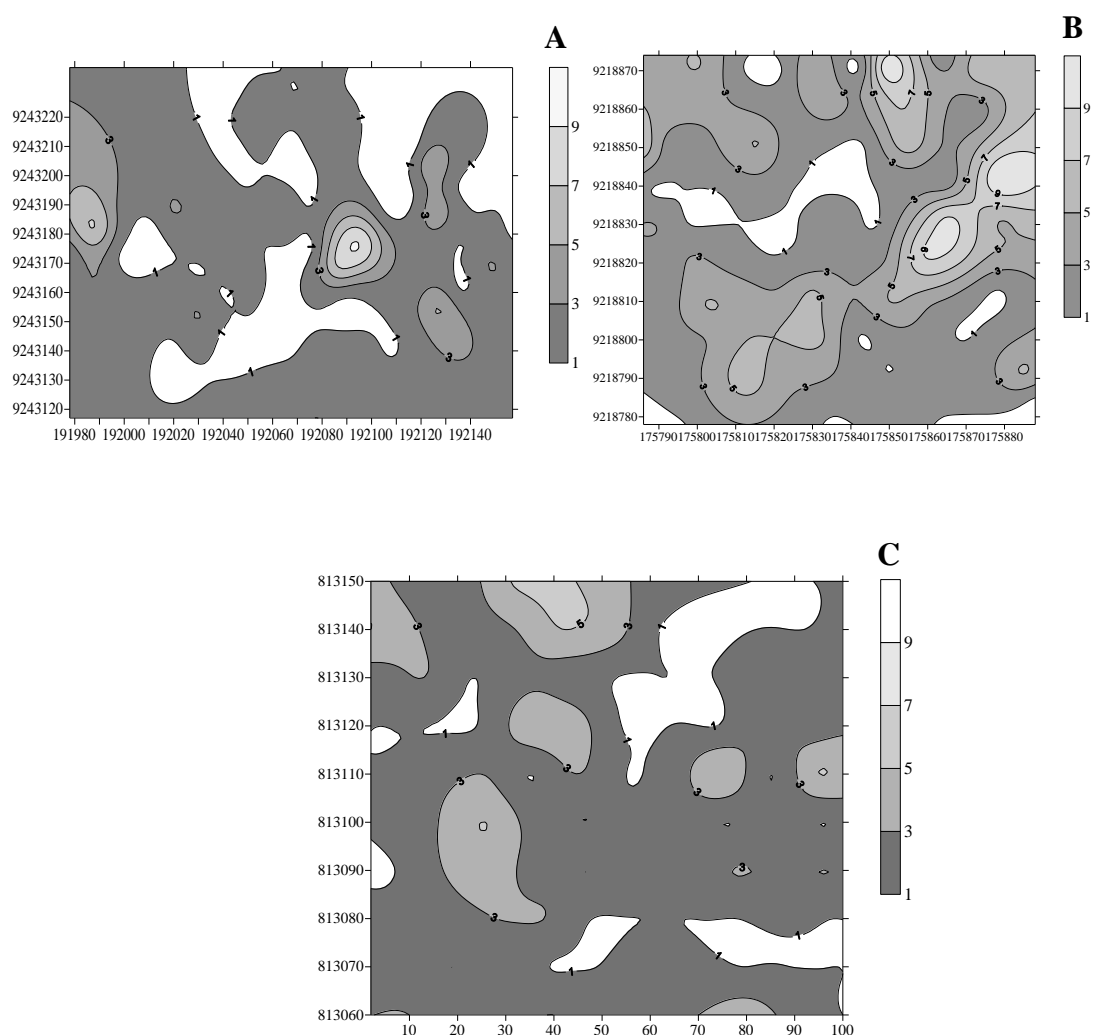
### 3.4 Distribuição Espacial das Populações

Os espécimes apresentaram tendência ao agrupamento e aumento na abundância absoluta em pontos específicos das áreas de caatinga estudadas. Em aproximadamente 86,5% da caatinga de Arara a abundância foi de 2 indivíduos, seguida de 9,7% com 3 e 4 indivíduos, visualizando-se na área mais clara a maior aglomeração dos espécimes (Figura 9a). O padrão de tendência ao agrupamento para cactáceas é observado devido a síndromes de dispersão bem como a facilidade das partes vegetativas contribuírem para a população no recrutamento de novos indivíduos.

Na caatinga de Areial, o mesmo padrão foi observado, entretanto formando “ilhas” populacionais (Figura 9b). Em 49,2% da caatinga, a abundância foi de 1 indivíduo, seguida de 31,3% com até 3 indivíduos, demonstrando-se assim a formação de pequenos aglomerados nessa caatinga. As áreas com maior aglomeração estão dispostas de cores mais claras no gráfico, como mostra a legenda e, em cerca de 2,6% da superfície foram amostrados até 9 indivíduos.

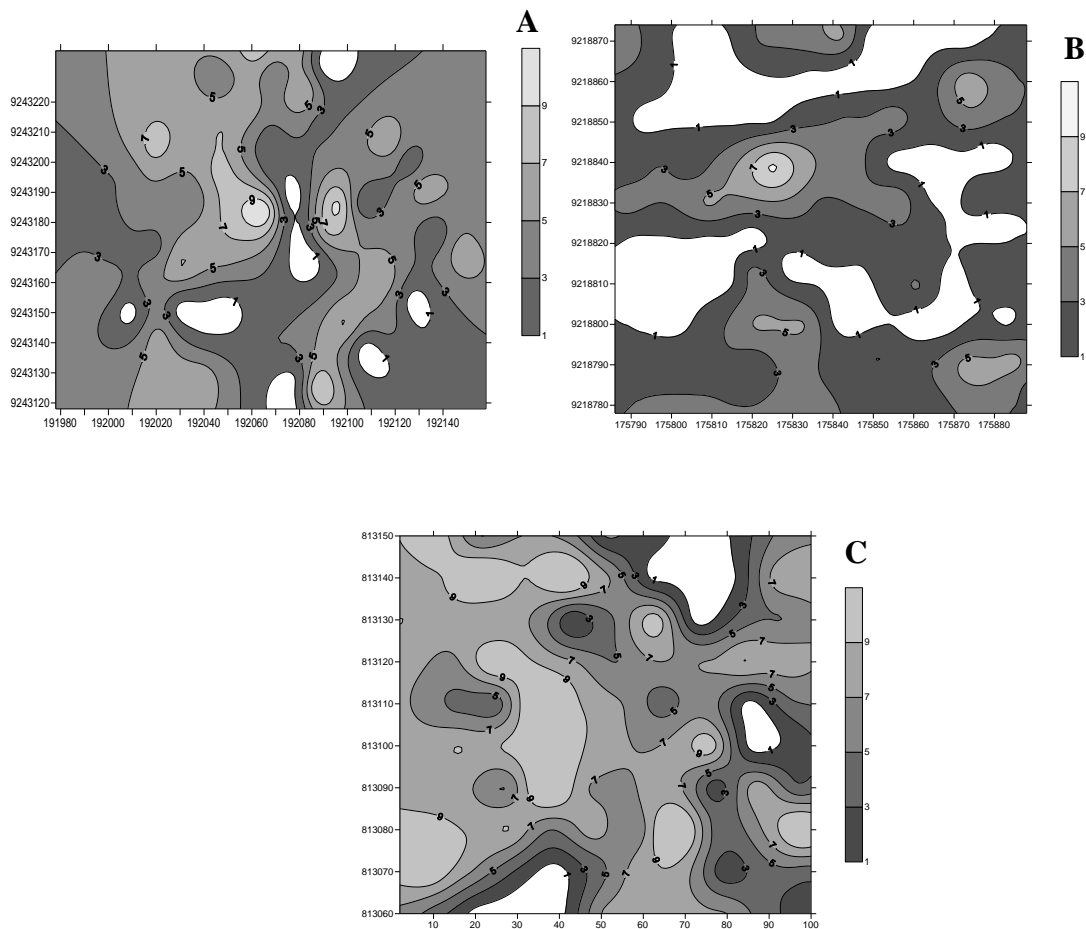
Em Boa Vista observou-se uma população uniformemente distribuída ao longo das classes de diâmetro e altura estabelecidas, sendo observado também o padrão de agregação (Figura 9c).

A presença de alguns aglomerados é nitidamente observada, aproximadamente em 81,2% da área foram amostrados até 2 espécimes, seguido de 17,1% com abundância absoluta de 3 a 4 indivíduos.



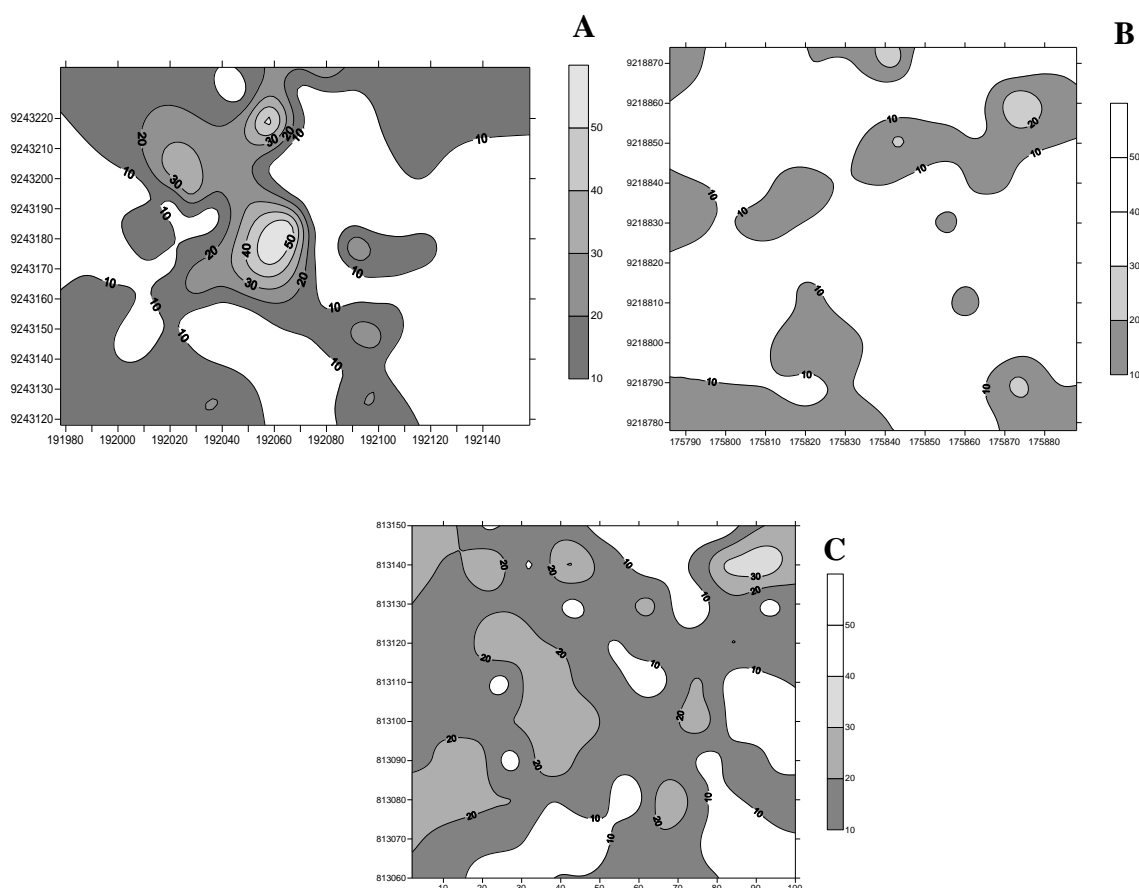
**Figura 9.** Predição do padrão da distribuição espacial em relação a abundância absoluta de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga. (A) Arara, (B) Areal e (C) Boa Vista-PB

A distribuição espacial das classes de altura de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* em Arara demonstrou que em 31,2% da área são encontrados indivíduos com altura de 3m, seguida de indivíduos com 5m (24,5%) e 1m (0,88%) (Figura 10a). Em 62,0% da caatinga de Areal foi amostrada espécimes de facheiro com 3m, seguida de 7,5% indivíduos com 1m, 5,5% espécimes com 5m (Figura 10b). Em Boa Vista espécimes com altura de 7m somaram-se 35,6%, seguido de 9 m (16,4%), 5m (14,6%) (Figura 10c).



**Figura 10.** Mapa de isolinhas da estrutura espacial em relação a altura de plantas por parcela entre as populações de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga. (A) Arara, (B) Areial e (C) Boa Vista-PB

A estrutura diamétrica analisada no espaço em Arara demonstrou que em 70,0% da área foram amostradas plantas com até 10cm de diâmetro, seguido de 15,2% com 20 cm e 30cm somando 5,3% (Figura 11a). Em Areial, espécimes com até 10 cm de diâmetro somaram-se 89,9% seguido de plantas com 20 cm (4,1%) (Figura 11b). Em Boa Vista espécimes com 20 cm de diâmetro representou 24,8% da área, seguido 1,9 % correspondendo a plantas com até 10 cm e 1,2% por plantas com até 30 cm de diâmetro (Figura 11c).



**Figura 11.** Mapa de isolinhas da estrutura espacial em relação ao diâmetro de plantas por parcela entre as populações de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga. (A) Arara, (B) Areial e (C) Boa Vista-PB

### 3.5 Considerações Sobre a Ecologia das Populações

A alta densidade populacional de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* em Areial é uma característica típica ambiental, e pode não necessariamente ligada o fator antropização. Entretanto, Ribeiro (2011) que cactáceas do gênero *Pilosocereus* apresentaram comportamento oportunistas em face a ambientes antropizados.

A caatinga de Areial é caracteristicamente xérica com textura do solo arenosa, embora densos com mal drenagem no horizonte B, típico de PLANOSSOLOS, no entanto apresenta-se como um substrato favorável para o crescimento e desenvolvimento de cactáceas (BARBOSA, 2011). A fitofisionomia regional é um dos fatores importantes para inferir sobre os descritores estruturais de populações vegetais, estas por sua vez podem exercer influência no aumento ou na redução da abundância de espécimes (PITREZ, 2006). Nomeadamente, a origem e o aspecto

da vegetação, para além do fator antrópico a variante abiótica é determinante na sua estrutura e configuração (PILLAR, 1995).

Nessa perspectiva, o tamanho do fragmento florestal, a presença de material orgânico, oriundo da caducifolia é um importante componente para o desenvolvimento das populações de *Pilosocereus* sp. (ALVES et al., 2007), uma vez que estes espécimes não apresentam sistema radicular profundo, pelo contrário suas raízes distribuem-se bem nos primeiros horizontes do solo, tendo em vista a necessidade da captação de água ao cair das primeiras chuvas, bem como a necessidade e armazenamento em organelas e tecidos celulares.

Os ambientes antropizados caracterizam-se pela redução na densidade vegetal, retirada de madeiras nobres e de maior valor comercial e, resultando no reduzido aporte e ciclagem de nutrientes. As populações vegetais são afetadas drasticamente por meio da fragmentação dos remanescentes florestais, prejuízo no fluxo gênico e na estrutura genética das populações desses ambientes (COSTA e SCARIOTT, 2003).

A redução do tamanho original da população, em Arara e a fragmentação da população em Areial, e por conseguinte o número de espécimes reprodutivos pode aumentar a probabilidade de cruzamento de indivíduos aparentados, consequentemente a longo prazo poderá ocorrer a perda da diversidade genética da população remanescente em decorrência de fenômenos como a endogamia e deriva gênica (COSTA e SCARIOTT, 2003).

Não obstante às perturbações de natureza antrópica nos fragmentos, Santos (2010) afirma que a distribuição de cactáceas no leste do Brasil está correlacionada com variáveis geoclimáticas, particularmente as vinculadas à latitude e longitude, como a sazonalidade, precipitação e temperatura (MURPHY e LUGO, 1986), o que sugere que esses fatores têm influenciado a evolução e especiação da família. As variáveis de temperatura e precipitação são fatores de determinação das formações vegetais na biosfera, bem como a dinâmica adaptativa aos eventos hídricos (NOY-MEIR, 1973; LEDRU, 1993; BEHLING, 1998; LEDRU et al., 1998; SAFFORD, 2007). As caatingas de Boa Vista e Areial são tidas como as mais xéricas e apresentaram maior abundância da espécie.

A tendência de agrupamento demonstrada neste trabalho também foi observada no trabalho de Hernández e Bárcenas (1995) onde estudaram modelos de distribuição de cactos ameaçados de extinção na região do deserto de Chihuahuan no México e constataram que os quadrados com alto número de espécies estavam agregados em áreas de altitude moderada.

Santos (2010) sugere que o modelo “Efeito do Domínio Médio” de distribuição pode estar relacionado com a maioria dos padrões encontrados para as *Cactaceae* do leste do Brasil,

em relação a latitude e altitude. Neste sentido, Mourelle e Ezcurra (1997) analisaram cactáceas colunares ao longo de gradientes tropical-subtropical nas Américas do Sul e do Norte e observaram que os efeitos da latitude co-variaram com outros como a extensão do habitat, podendo exercer um papel extremamente importante para a explicação dos resultados do presente estudo.

A estrutura populacional de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* ao longo das três caatingas que não pode ser explicada pelas condições do estado de conservação das áreas “*per si*” ou pela variação abiótica; pode estar relacionada com eventos pouco perceptíveis ou mensuráveis que contribuem para a heterogeneidade do habitat, como a incidência local de luz e os microhabitats formados por outras plantas “*nurse-plants*” ou rochas “*nurse-rocks*” o que vem sendo estudado para cactáceas (DREZNER, 2006; MACHADO et al., 2008; PETERS et al., 2008). Podem ser importantes interações das cactáceas com outros organismos (RIVERA-MARCHAND; ACKERMAN, 2006; SCHLUMPBERGER et al., 2006; ROCHA et al., 2007). Neste sentido, outros estudos devem ser empreendidos para analisar a magnitude das plantas berçário e sua possível interação com *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* e outras cactáceas nativas.



#### 4 CONCLUSÕES

A população e a dominância absoluta de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi é maior na caatinga de Boa Vista do que na de Areial e Arara, Paraíba. Em todas as áreas a estrutura populacional apresenta alteração, com características de regeneração. Independente dos ambientes, a espécie apresenta similaridade espacial e tendência ao agrupamento.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALVES, F. C.; PUPIN, C. T.; CANO, D. D.; PETARLI, F. A.; ALGUQUERQUE J. J. O.; LIMOEIRO, K. S. MOREIRA, R. P. G.; VOLTOLINI, J. C. Biogeografia de ilhas de uma população do cactus *Pilosocereus arrabidae* (Cactaceae) no PEPCV. In: CONGRESSO DE ECOLOGIA DO BRASIL, 7., 2007, Caxambu. **Anais do VII Congresso de Ecologia do Brasil**. Guarapari, 2007. 1 CD-ROM.

ANDERSON, E. F. **The cactus famlily**. Timbre Press. Portland, Oregon, 2001. 777 p.

ARECES, A. Cactaceae. In: SMITH, N. **Flowering plants of the neotropics**. The New York Botanical Garden, Princeton University Press, 2004. p. 73 - 76.

AYRES, M.; AYRES JÚNIOR, M.; AYRES, D. L.; SANTOS, A. A. S. **BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**. Sociedade Civil Mamirauá, Belém. 2007.

BARBOSA, A. S. **Estrutura da vegetação e distribuição espacial de Cactaceae em áreas de caatinga do semiárido paraibano**. 166f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) Centro de Ciências Agrárias – Universidade Federal da Paraíba. 2011.

BARTHLOTT, W.; D. R. HUNT. **Cactaceae**. Berlin, Springer-Verlag. v. 2. 1993. p. 161 - 196.

BEHLING, H. Late quaternary vegetacional and climatic changes in Brazil. **Review of Paleobotany and Palynology**, London, v. 99, n. 2, 1998. p.143 - 156.

CARLSON, R. E.; FOLEY, T. A. The parameter  $R^2$  in multiquadric interpolation. **Computers & Mathematics with Applications**, v.21. n.9. 1991. p. 29 - 42.

COSTA, R. B.; SCARIOTT, A. A fragmentação florestal e os recursos genéticos. In: COSTA, R. B. da (Org.). **Fragmentação Florestal e Alternativas de desenvolvimento Rural na Região Centro-Oeste**. Campo Grande, 2003.

COMIN, F. H. Olhares **Cruzados: Conhecimento e conservação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Passa-Cinco, SP**. 2007. 91 P. Dissertação de Mestrado (Ecologia Aplicada). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo. 2007.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Arara, estado da Paraíba**. João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM. 2005a. p. 20.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Areial, estado da Paraíba**. João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM. 2005b. p. 19.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Boa Vista, estado da Paraíba**. João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM. 2005c. p.11.

DREZNER, T. D. Plant facilitation in extreme environments: the non-random distribution of saguaro cacti (*Carnegiea gigantea*) under their nurse associates and relationship to nurse architecture. **Jornal of Arid Environments**, Devon, v. 65, p. 46 - 61, 2006.

GODÍNEZ-ALVAREZ, H. V. T.; ORTEGA-BAES, P. Demographic trends in the Cactaceae. **Botanical Review**, New York, v. 69, p. 173-203, 2006.

GUERRERO, P. C.; DURÁN, P.; WALTER, H. Patrones biogeográficos de las cactáceas endémicas de Chile. In: CONGRESSO NACIONAL DE BOTÂNICA, 59, 2008, Natal. **Anais do Congresso Nacional de Botânica**. Natal: Imagem Gráfica, 2008. 1 CD-ROM.

HERNÁNDEZ, H. M.; BÁRCENAS, R. T. Endangered cacti in the Chihuahuan Desert: I. distribution patterns. **Conservation Biology**, Washington, v. 9, n. 5, p. 1176 - 1188, 1995.

JANZEN, D. H. Why bamboos take so long to flower. **Annual Review of Ecology and Systematics**, v. 7: 347-391. 1976.

LEDRU, M. P.; SALGADO-LABOURIAU, M. L.; LORSCHETER, L. Vegetation dynamics in southern and central Brazil during the last 10,000 yr. **B. P. Review of Paleobotany and Palynology**, London, v. 99, p. 131 - 142, 1998.

LUNDBERG, S.; INGVARSSON, P. Population dynamics of resource limited plants and their pollinators. **Theoretical Population Biology**, Cambridge, v. 54, p. 44 - 49, 1998.

LEITE, E. J. Spatial distribution patterns of riverine Forest taxa in Brasília, Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 140, p. 257 - 264, 2001.

MACHADO, E. L. M.; OLIVEIRA-FILHO, A. T.; BERG, E. V. D.; CARVALHO, W. A. C.; SOUZA, J. S.; MARQUES, J. J. G. S. M.; CALEÁRIO, N. Efeito do substrato, bordas e proximidade espacial na estrutura da comunidade arbórea de um fragmento florestal em Lavras, MG. **Revista Brasileira de Botânica**, São Paulo, v. 32, n. 2, p. 287 - 302, 2008.

MICROSOFT EXCEL. Microsoft Corporation, Redmond, Washington, EUA, 2013.

MISSOURI BOTANICAL GARDEN. **Base de dados Tropicos**. Disponível em: <<http://www.tropicos.org>> Acesso em: 21/06/2014.

MOURELLE, C.; EZCURRA, E. Differentiation diversity of Argentine cacti an its relationship to environmental factors. **Journal of Vegetation Science**, USA, v. 8, p. 547-558, 1997.

MULLER-DOMBOIS, D.; ELLENBERG, H. **Aims and methods of vegetation ecology**. New York: Wiley, p. 574, 1974.

MURPHY, P. G.; LUGO, A. E. Ecology of tropical dry forest. **Annals of Review of Ecology and Systematics**, California, v. 17, p. 67-88, 1986.

NOY-MEIR, I. Desert ecosystems: environment and producers. **Annual Review and Systematics**, v. 4. p. 25 - 51. 1973.

NYFFELER, R. Phylogenetic relationships in the cactus family (*Cactaceae*) based on evidence form *trnK/matK* and *trnF* sequences. **American Journal of Botany**, n. 89, p. 312 - 326, 2002.

PETERS E. M.; MARTOREL, C.; EZCURRA, E. Nurse rocks are more important than nurse plants in determining the distribution and establishment of globose cacti (*Mammillaria*) in the Tehuacán Valley, México. **Journal of Arid Environments**, v. 72, p. 593 - 601, 2008.

PILLAR, V. D. **Clima e vegetação**. UFRGS, Departamento de Botânica. Disponível em: <<http://ecoqua.ecologia.ufrgs.br>>. Acessado em: 28/11/2014.

PITREZ, S. R. **Florística, fitossociologia e citogenética de angiospermas ocorrentes em inselbergues**. 123f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. 2006.

QUIRINO, Z. G. M. **Fenologia, síndromes de polinização e dispersão de recursos florais de uma comunidade de caatinga no Cariri Paraibano**. 2006. 128f. (Tese de Doutorado em Biologia Vegetal) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, PE, 2006.

RAMALHO, C. I. **Estrutura da vegetação e distribuição espacial do licuri (*Syagrus coronata* (Mart) Becc.) em dois municípios do centro norte da Bahia, Brasil**. 168f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba. 2008.

RIBEIRO, E. M. S. **Influência de perturbações antrópicas sobre populações de cactáceas em áreas de caatinga**. 55f. Dissertação de Mestrado (Biologia Vegetal) Universidade Federal de Pernambuco. 2011.

RIVERA-MARCHAND, B.; ACKERMAN, D. Bat pollination breakdown in the Caribbean columnar cactus *Pilosocereus royerii*. **Biotropica**, v. 38, n. 5, p. 635 - 642, 2006.

ROCHA, E. A.; MACHADO, M.; ZAPPI, D. C. Floral biology of *Pilosocereus tuberculatus* (Werderm.) Byles & Rowley: a bat pollinated cactus endemic from the “Caatinga” in the northeastern Brazil. **Bradleya**, England, v. 25, p. 125 - 128, 2007.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S.; FIGUEIREDO, M. A. **Manual sobre métodos de estudo florístico e fitossociológico: ecossistema caatinga**. Brasília: Sociedade Botânica do Brasil, p. 24, 1992.

SAFFORD, H. D. Brazilian Paramos IV. Phytogeography of the campos de altitude. **Journal of Biogeography**, Oxford, v. 34, p. 1701 - 1722, 2007.

SANTOS, M. R. **Influência de variáveis ambientais e espaciais na distribuição geográfica da família cactaceae no leste do Brasil**. 76f. Dissertação (Mestrado em Ecologia Aplicada) – Universidade Federal de Lavras. 2010.

SCHLUMPBERGER, B. O.; CLERY, R. A.; BARTHLOTT, W. A unique cactus with scented and possibly bat-dispersed fruits: *Rhipsalis jegeri*. **Plant Biology**, New York, v. 8, p. 265 - 270, 2006.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A. E MELLO, J. M. **Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural**. In: Scolforo, J. R. S (Org.). Manejo Florestal. UFLA/ FAEPE, Lavras, Brasil, p.189-245.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira**. Nova Odessa, SP.: Instituto Plantarum, p. 639, 2005.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N. Diversidade e endemismo das cactaceae na cadeia do Espinhaço. **Revista Megadiversidade**, v. 4 n. p. 1 - 2, 2008.

ZAPPI, D. C. *Pilosocereus* (Cactaceae). **The genus in Brazil**. Succulent Plant Research 3 ed., 1994.

## **CAPÍTULO IV:**

### **ANATOMIA DOS ÓRGÃOS VEGETATIVOS E DO FRUTO DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**



## CAPÍTULO IV:

### ANATOMIA DOS ÓRGÃOS VEGETATIVOS E DO FRUTO DE *Pilosocereus cattingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

#### RESUMO

*Pilosocereus cattingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi é uma cactácea de ocorrência abrangente no semiárido nordestino. Visando acrescentar informações a respeito de sua adaptação ao ambiente xérico, o trabalho teve como objetivo realizar um estudo anatômico de órgãos vegetativos e do fruto de espécimes do Agreste do estado da Paraíba. Foram coletados materiais em Areial, Arara e Boa Vista, PB. Secções transversais dos tecidos foram obtidas à mão livre, com lâmina comum de barbear, clarificadas com hipoclorito de sódio (50%), coradas com safranina e azul de astra e analisadas sob microscopia óptica. Testes histoquímicos foram realizados para detectar a possível presença de alcaloides utilizando como indicador *Dragendorff*. A estrutura secundária das raízes dos três locais apresentou-se praticamente invariável, onde foi observada a substituição da epiderme por periderme, córtex com poucas camadas de parênquima, feixes vasculares colaterais e fibras situadas nos raios parenquimáticos que separam os feixes. Drusas estão presentes na região cortical, porém, são vistas em maior número nas raízes coletadas em Areial e em menor quantidade nas raízes de Boa Vista. De acordo com a literatura, a presença de cristais indica um valor adaptativo a condições xéricas, confirmando-se nesse caso em que a presença da maior quantidade de drusas foi verificada na localidade de clima mais quente. O tecido do caule é constituído por epiderme unisseriada de formato alongado e redução no lume à medida se aproxima dos feixes vasculares. São verificadas células mucilaginosas e cristais de oxalato de cálcio em toda a região cortical para os espécimes coletados nas três áreas. O fruto apresenta-se com epicarpo unisseriado, cuticularizado, glabro, não estomatífero e com células levemente prismáticas e de paredes delgadas. O mesocarpo é de natureza colenquimática e parenquimática e cristais de oxalato de cálcio são também observados. Os espécimes de Areial apresentam alta formação de cristais de oxalato nas células do tecido cortical da raiz e os distinguem das populações de Arara e Boa Vista, PB. Os espécimes de Arara não expressam de alcaloides no caule, entretanto esse grupo é encontrado nos espécimes de Areial e Boa Vista, PB. O trabalho contribui, assim, com o estabelecimento de parâmetros de ordem anatômica que servem de subsídios à taxonomia da espécie.

**PALAVRAS-CHAVE:** Facheiro, Cactáceas, Semiaridez.

## CHAPTER IV:

### ANATOMY OF VEGETATIVE ORGANS AND FRUIT OF *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

#### ABSTRACT

*Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi is a comprehensive cactus with occurrence in the northeastern semiarid. Aiming to add information about the adaption to xeric environment, the study aimed to perform an anatomical study of vegetative organs and fruit of specimens from Westland of Paraíba. It was collected materials in Arara, Areial and Boa Vista, PB. Cross sections of tissues were obtained free handing with blade shaves, then clarified with sodium hypochlorite (50%), stained with safranin and blue astra and examined under light microscopy. Histochemistry tests were made to detect the alkaloids with Dragendorff as indicator. The secondary structure of the roots of the three sites showed virtually invariant, where we observed the replacement of epidermis by periderm, cortex with few layers of parenchyma, collateral vascular bundles and fibers located in the parenchyma rays between beams. Druse are present in the cortical region, however, are seen in greater numbers in roots collected in Areial and fewer roots of Boa Vista specimens. According to the literature, the presence of crystals adaptive value indicates the xeric conditions, confirming that in this case the presence of the larger amount of druse was observed in the region of the warmer climate. The stem tissue comprises epidermis uniseriate elongate format and reduced heat as it approaches the vascular bundles. Mucilaginous cells and calcium oxalate crystals are checked throughout the cortical region for specimens collected in three areas. The fruit presents with uniseriate cuticularized epicarp, glabrous, not stomata and slightly prismatic and thin-walled cells. The mesocarp is collenchymatic nature and parenchyma and calcium oxalate crystals are also observed. The Areial specimens have high formation of oxalate crystals in the cells of the cortical root tissue and distinguish the populations of Arara and Boa Vista, PB. The Arara of species not express alkaloids in the stem, however this group were found in specimens of Areial and Boa Vista, PB. The work therefore contributes to the establishment of anatomical parameters of anatomical order, which form of subsidies to the taxonomy of the specie.

**KEYWORDS:** Facheiro, Cacti, Semiarid.

## 1 INTRODUÇÃO

A família Cactaceae, com exceção da espécie *Rhipsalis bacifera* de ocorrência na África Tropical e no Sri Lanka, distribui-se por toda a região da América Tropical com aproximadamente 1.900 espécies, das quais 300 estão distribuídas em 100 gêneros (ARECES, 2004). Subdividida em três subfamílias: *Pereskioideae*, *Opuntioideae* e *Cactoideae* (NYFFELER, 2002), seus espécimes possuem ampla adaptação aos ambientes áridos e semiáridos continentais. Barthlott e Hunt (1993) as descrevem como árvores perenes, arbustos ou trepadeiras, apresentando caule suculento e adaptações tanto morfológicas quanto na estrutura floral, com diferentes tipos de sistemas de polinização.

O Brasil é considerado o terceiro maior centro de diversidade de *Cactaceae*, com aproximadamente 200 espécies (SOUZA et al., 2005). Segundo Rizzini (1987) as cactáceas de ocorrência natural no Brasil podem ser agrupadas de acordo com seu habitat em cinco grupos: 1 – silvícolas: que habitam florestas pluviais, floresta amazônica e atlântica, com maior predominância de espécies epífitas; 2 – savanícolas: de ocorrência no cerrado; 3 – campestres: em campos rupestres de Minas Gerais; 4 – litorâneas: no litoral brasileiro; 5 – xerófilas: encontradas na caatinga, onde compreendem o maior número de espécies catalogadas.

O gênero *Pilosocereus* Byles & Rowley é encontrado no México e na América do Sul, pertencente à subfamília *Cactoideae*, tribo *Cereeae*. O gênero *Pilosocereus* compreende de 36 espécies neotropicais (ZAPPI, 1994), dispostas em dois subgêneros, *Gounellea* e *Pilosocereus* (SILVA e ALVES, 1999). Seus espécimes são caracterizados por ramos colunares, flores relativamente curtas, tubo floral glabro, desprovido de aréola, e frutos depresso-globosos deiscentes (ZAPPI, 1994).

Os estudos anatômicos em *Cactaceae* deram início por volta do século dezesseis e buscavam, principalmente, relações anatômicas com as diferentes formas e o metabolismo fotossintético dos caules destas espécies (DETTKE, 2008). Neste sentido, as características anatômicas, morfológicas e fisiológicas de espécies de *Cactaceae* compõem adaptações aos ambientes áridos e semiáridos (GIBSON e NOBEL 1986) importantes de estudo para se conhecer os mecanismos que levam estes espécimes a interagir com o seu meio de ocorrência natural.

Neste sentido, estudos do caule fotossintético de cactos lenhosos e suculentos revelou que a maioria deles tinham se adaptado ao ambiente xérico sem a evolução da maioria das

características presentes em *Cactoideae*, as únicas características universalmente presentes estavam uma persistente epiderme, córtex espesso e uma paliçada das células do córtex ultraperiféricas (MAUSETH, 2004a, b).

As cactáceas são portanto uma família de interesse em examinar questões relacionadas a evolução e a diferenciação de estruturas anatômicas especializadas na adaptação ao ambiente árido e semiárido, especialmente considerando que dentro do grupo existe uma gama de variações relacionadas à essas características (OGBURN e EDWARDS, 2009).

Dentre as alterações anatômicas caulinares mais expressivas, Terrazas e Mauseth (2002) destacam a presença de cera epicuticular, cutícula espessa, estômatos localizados em depressões da epiderme (em algumas espécies), hipoderme colenquimática e o desenvolvimento de grandes proporções de tecido parenquimático com células mucilaginosas. Em *Pilosocereus* Silva e Alves (1999) demonstraram a formação de cristais de oxalato de cálcio restritos às células da hipoderme colenquimática. Feixes corticais foram notados no caule de todas as espécies em estruturas primária e secundária, as células de mucilagem foram observadas apenas na estrutura secundária do caule.

Estudo de anatomia comparativa entre populações de regiões geográficas são importantes para demonstrar as relações com seu ambiente, sobretudo na capacidade adaptativa ao semiárido, por se tratarem de um recurso fitogenético regional de importância para os nichos ecológicos das formações de caatinga remanescentes. Tais caminhos investigativos podem trazer esclarecimentos e provimento de informações para a caracterização de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em caatingas de sua ocorrência.

O objetivo do trabalho foi realizar um estudo anatômico de raízes, caule e fruto de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* oriundo de áreas da caatinga paraibana, Brasil, uma vez que há necessidade de estudos sobre anatomia comparativa da família relacionando com às condições ambientais, principalmente com a características xéricas da região.

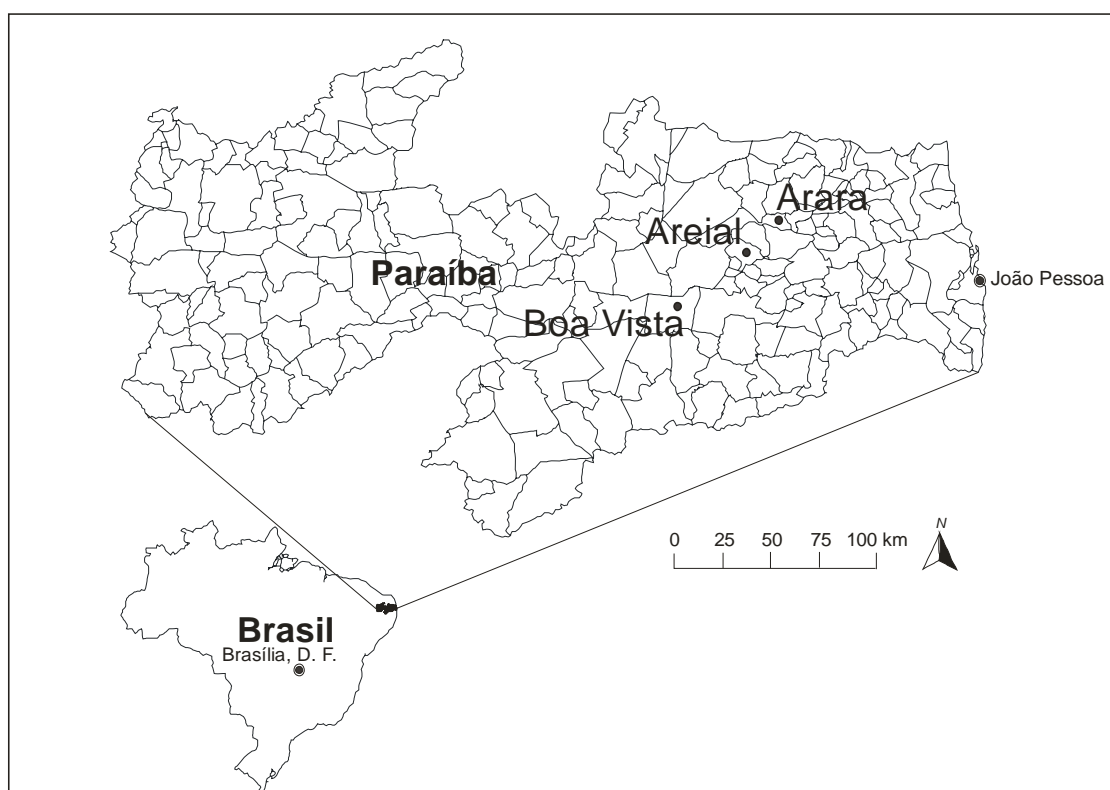
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Áreas de Coleta do Material Vegetal

A coleta dos acessos para a análise em microscopia foi realizada em três fragmentos florestais de caatinga, em diferentes fitofisionomias dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB (Figura 1 e 2), localizados na mesorregião Agreste do estado da Paraíba.



**Figura 1.** Áreas de coleta dos espécimes de *Pilosocereus cattingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga de Arara, Areial e Boa Vista (respectivamente), Agreste do estado da Paraíba, Brasil



**Figura 2.** Representação geográfica dos pontos de coletas dos espécimes de *Pilosocereus cattingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil

A caatinga de Arara é formada por espécies subcaducifólica e caducifólica, apresentando clima do tropical chuvoso e verão seco, com precipitação pluvial média anual de 666.13 mm e altitude aproximada de 467 metros (CPRM, 2005a). Essa área apresenta-se com características sucessionais em nível intermediário, presença de corte seletivo de madeira, pastejo do gado bovino durante a estação seca, como também são vistas aberturas ao longo da vegetação para tráfego de animais, veículos e pessoas.

A caatinga de Areial, semelhantemente a de Arara, apresenta-se como formações de florestais subcaducifólica e caducifólica, clima tropical chuvoso e verão quente e seco com chuvas de janeiro a outubro, sendo a precipitação pluvial média anual de 679,7 mm. (CPRM, 2005b). Essa área apresentou-se como uma das mais antropizadas, em virtude da fragmentação da caatinga remanescente e formação de “ilhas” de vegetação. Em boa parte da área observa-se aberturas para o cultivo de culturas anuais, bem como a utilização dos recursos vegetais para o pastejo dos rebanhos bovino, asininos e muares.

A caatinga de Boa Vista é composta, em sua grande maioria, por espécies vegetais caducifólicas, apresenta clima tropical chuvoso e verão quente e seco. A precipitação pluvial média anual é de 443,93 mm (CPRM, 2005c), caracterizando como a caatinga mais xérica dentre as áreas de coleta, como também uma das mais conservadas. Mais recentemente foi verificado a entrada do rebanho caprino para o pastejo controlado durante a estação seca.

As três áreas de coleta foram escolhidas com base na elevada abundância relativa de *Pilosocereus* spp. e por esta espécie apresentar um dos maiores valores de importância ecológica dentro dessas caatingas (BARBOSA, 2011).

O material vegetal coletado constituiu de raízes superficiais secundárias, caule a 1,3 m acima da superfície do solo e frutos totalmente maduros constituídos de coloração totalmente violácea ou arroxeada.

## **2.2 Análise Microscópica**

Foram realizados cortes em secções transversais, à mão livre, na região mediana de raízes frescas, região cortical e medular dos feixes vasculares do caule e no pericarpo do fruto usando lâmina comum de barbear e, tendo como material de suporte a medula do pecíolo de *Cecropia* sp.. As secções foram clarificadas com solução de hipoclorito de sódio a 50% e coradas com safranina e azul de astra (JOHANSEN, 1940). Posteriormente, foram

confeccionadas lâminas histológicas semipermanentes, contendo as secções transversais do material botânico, seguindo procedimentos usuais em anatomia vegetal (JOHANSEN, 1940; SASS, 1951; SILVA, 2013).

As imagens digitais foram capturadas por microscópio óptico (*Alltion*) acoplado com câmera digital pelo programa *Toup View Image*.

### **2.3 Histoquímica: teste para alcaloides**

Para detecção de alcaloides foi utilizado o reagente de *Dragendorff* (8g de nitrato de bismuto foi diluído em 20 ml de ácido clorídrico seguido de adição de 22,7 ml de iodeto de potássio; a solução foi diluída com água destilada para o volume final de 100 ml). Partes do tecido vegetal foi submetida ao reagente de *Dragendorff* durante aproximadamente 4 minutos a ocorrência foi observada em microscópio óptico (*Alltion*) acoplado com câmera digital pelo programa *Toup View Image*, sendo a presença identificado por uma coloração alaranjada na estrutura.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Anatomia e Histoquímica da Raiz

A estrutura interna das raízes em estágio secundário apresentou-se semelhante entre os indivíduos analisados para as três populações estudadas (Figura 3a e 3c). Os feixes vasculares são do tipo colateral. Foram observados raios parenquimáticos separando nos feixes vasculares, os quais, em secção transversal, apresentam de 3 a 4 camadas de células (Figura 3a e 3c).

Em alguns pontos, o xilema se bifurca e novos raios são formados (Figura 3a e 1b). De acordo com Silva e Alves (1999), em *P. tuberculatus* (Werderm.) Byles & Rowley, o número de camadas de células dos raios pode chegar a seis. Ainda segundo os mesmos, os raios parenquimáticos aumentam a quantidade de células especializadas em armazenar água, sendo um importante caractere para espécies da caatinga na adaptação à variável entrada hídrica no ecossistema.

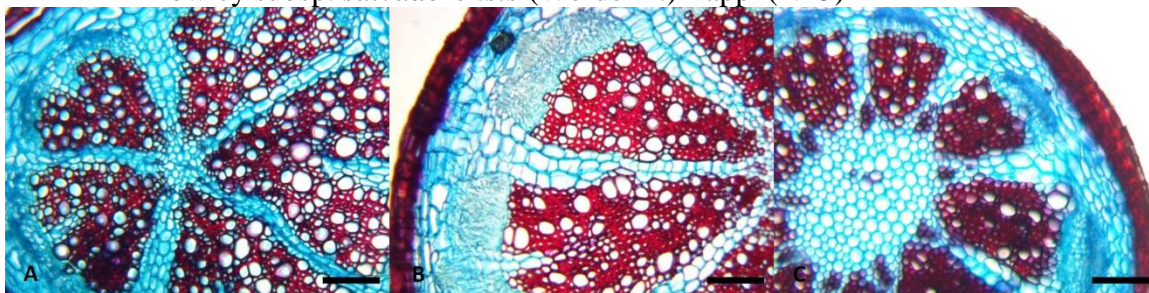
O sistema de revestimento das raízes de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* é constituído pela periderme (Figura 4a). As células da periderme possuem formato retangular e paredes fortemente espessadas. A região cortical é reduzida, por conta do desenvolvimento da periderme e do sistema vascular (Figura 4a). Esse tipo de constituição interna das raízes também foi observado em *P. pachycladus* subsp. *pernambucoensis* (Ritter) Zappi e em outras cinco espécies de *Pilosocereus* (SILVA e ALVES, 1999), bem como em outra espécie de Cactaceae, *Melocactus* × *horridus* Wedermann Notizbl (ARRUDA et al., 2005).

Grupos isolados de fibras são visualizadas nos raios (Figura 4). A presença de amiloplastos, ainda nos raios, foi constatada na família *Cactaceae* (SILVA e ALVES, 1999; ARRUDA et al., 2005), porém, não foram visualizados na espécie em estudo.

A ocorrência abundante de cristais agrupados de oxalato de cálcio em *Cactaceae* foi reportada por Metcalfe e Chalk (1972). Em *P. catingicola* subsp. *salvadorensis*, drusas foram encontradas nos raios parenquimáticos (Figura 4c) e na região cortical (Figura 2d), entretanto, são vistas em maior número nas raízes coletadas em Areial e em menor quantidade nas raízes de Arara e Boa Vista. De acordo com a literatura, a presença de cristais indica um valor adaptativo às condições xéricas (FAHN e CUTLER, 1992), confirmando-se nesse caso em que a presença da maior quantidade de drusas foi verificada na localidade de clima mais quente.

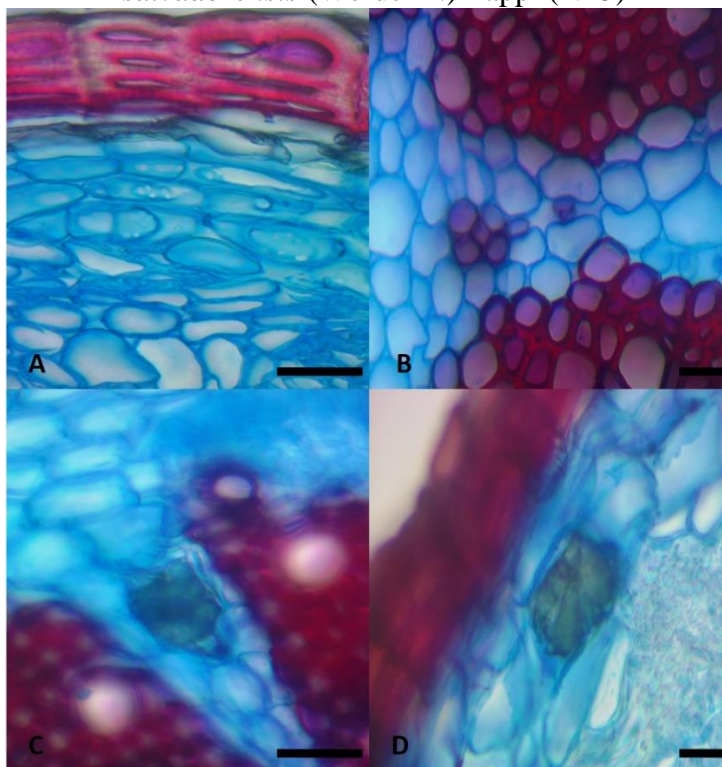


**Figura 3.** Raízes em estrutura secundária de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (N=5)



Vista geral de raízes de *Pilosocereus pachycladus* em corte transversal coletadas em: A) Arara; B) Areal; C) Boa Vista. Barras: A, B e C = 150  $\mu$ m

**Figura 4.** Secções transversais de raízes de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (N=5)



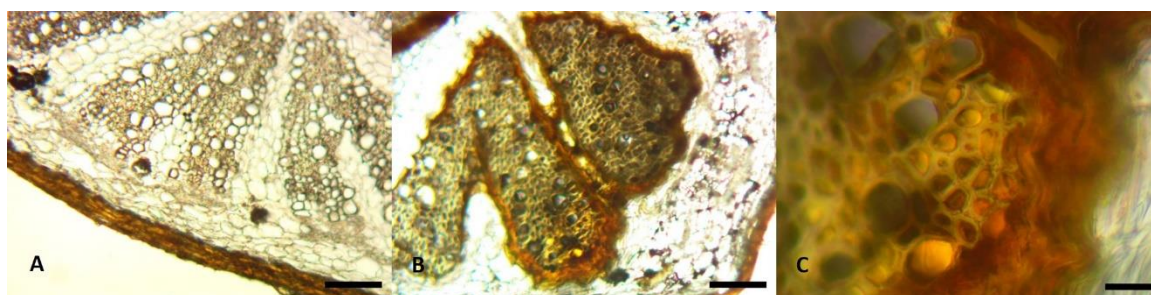
A) Região cortical e periderme; B) Fibras entre os raios parenquimáticos; C) Drusa no raio parenquimático; Drusa na região cortical. Barras: A, B, C e D = 30  $\mu$ m

A estrutura interna das raízes em estágio secundário apresenta-se semelhante entre os indivíduos analisados. Raios parenquimáticos provenientes da atividade cambial foram também mencionados por Silva e Alves (1999) no gênero *Pilosocereus* Byles & Rowley os quais, segundo estes autores, ampliam o volume de células especializadas no armazenamento de água.

Para espécies da caatinga, como as aqui analisadas, este caráter pode ser interpretado como uma adaptação à escassa disponibilidade de água (MAUSETH, 2005).

Conforme pode ser observado na figura 5 os testes histoquímicos para a detecção de alcaloides na raiz demonstraram a presença desse grupo de constituintes químicos ao longo da camada de células adjuntas aos feixes vasculares.

**Figura 5.** Teste histoquímico nas secções transversais de raízes de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (N=5)



A) Controle da região cortical e periderme; B) Região dos feixes vasculares; C) Detalhe da região dos feixes vasculares. Barras: A e B = 150  $\mu$ m; C = 30  $\mu$ m

### 3.2 Anatomia e Histoquímica do Caule

A epiderme apresenta-se unisseriada representada por células da parede com fibras, com cutícula espessa. Diferentemente de Silva e Alves (1999) foram encontrados drusas de oxalato de cálcio na espécie de forma variada de ocorrência no interior das células desse tecido (Figuras 6a, b e c). Sob a epiderme há várias camadas de células irregulares com parede celulósica espessada e lume reduzido constituem a hipoderme. O número de camadas varia entre três e quatro e somente nestas células foi visualizado cristais prismáticos de oxalato de cálcio, no interior celular (Figuras 6a, b e c).

Câmaras subestomáticas atravessam as camadas de células espessadas (Figuras 4a, b e c). As grandes câmaras subestomáticas localizadas em toda a extensão do colênquima subepidérmico são mencionadas por alguns autores (SOFFIATTI e ANGYALOSSY, 2003) e foram observadas em todos os indivíduos analisados neste trabalho. A localização dessas estruturas garante a integridade das trocas gasosas logo após a abertura dos estômatos, com objetivo de elevar a eficiência fotossintética (DALING, 1989; FAHN e CUTLER, 1992; ARRUDA et al., 2005).

De acordo com Daling (1989) em *Cereus gicanteus* a epiderme e a hipoderme protegem a região clorênquimática das radiações alfa e beta e assim, permite a espécie maior aproveitamento da radiação fotossinteticamente ativa. Aparentemente a exoderme dos espécimes de Areial (Figura 6b) apresentou-se um pouco mais espessa quando comparada com os espécimes de Arara e Boa Vista, PB. Entretanto, não foram encontradas diferenças significativas no número de camadas da hipoderme dos espécimes coletados em distintas caatingas.

A região do córtex é ampla, constituído de áreas distintas, sendo uma mais externa rica em cloroplastos, o clorênquima, e outra mais interna com redução na densidade dessas organelas. Assim como descrito por Silva e Alves (1999) o clorênquima é formado por células longas no sentido radial e arrançadas em formado de paliçada com cerca de nove camadas na espécie. Na porção mais interna do tecido as células assumem formato mais arredondado ou irregular.

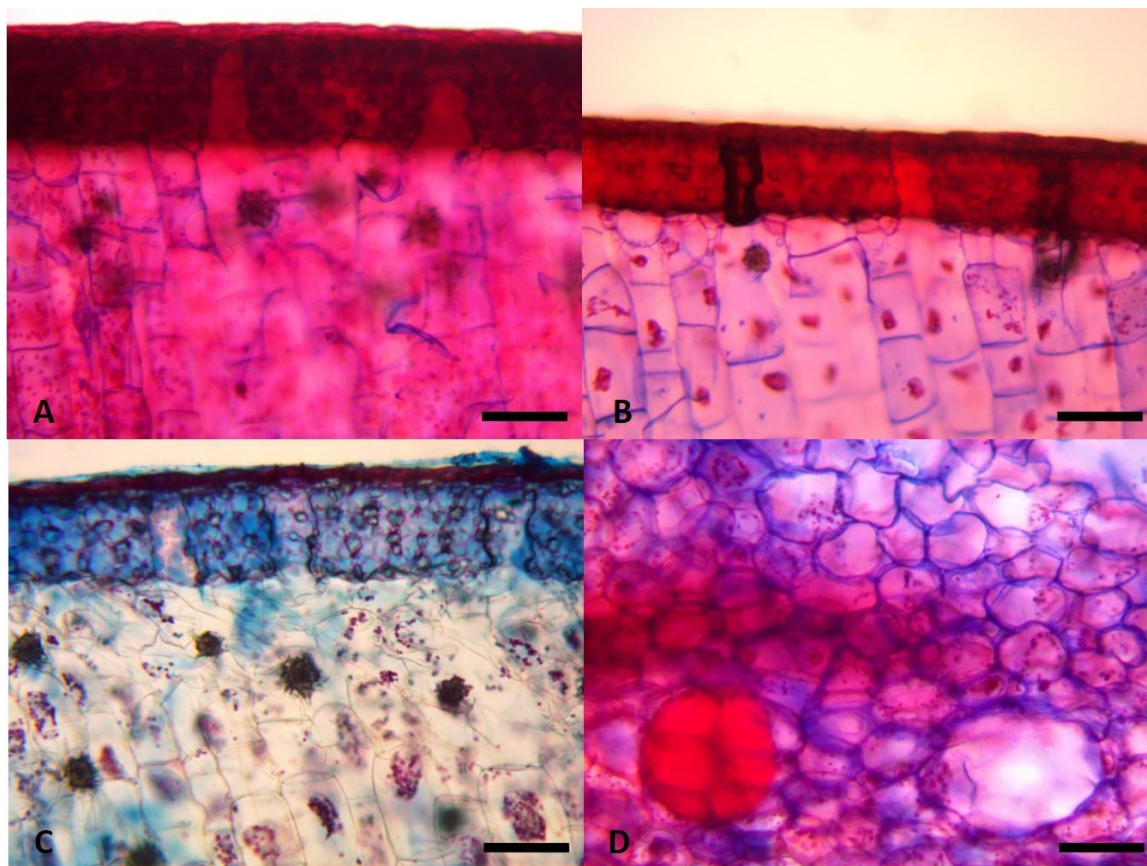
Drusas de oxalato de cálcio e células de mucilagem encontram-se distribuídas ao longo de toda a região cortical do caule. Os indivíduos das três populações expressaram elevado número de células de mucilagem com tendência a diminuir a medida que se aproximam da região do cilindro vascular.

Fahn e Cutler (1992) comentaram do valor adaptativo da presença de cristais de oxalato de cálcio nas células epidérmicas para os ambientes semiáridos visualizados na espécie em estudo, entretanto ausentes em *Pilosocereus pachycladus* subsp. *pernambucoensis*. As funções dessas estruturas foram comentadas por Ganong (1985) como produtos do metabolismo vegetal e Daling (1989) com função de aumentar a razão de reflexão da radiação solar e por conseguinte reduzir o estresse a nível celular causado pela alta e constante disponibilidade luminosa nos ambientes semiáridos. A ocorrência de cristais de oxalato de cálcio onde reportadas apenas para o subgênero *Gounellea* (Cactaceae), entretanto informações de Gibson et al. (1978) observaram a presença de cristais nas células epidérmicas de *P. alensis* (*Cephalocereus leucocephalus*), sendo assim uma característica não exclusiva para esse subgênero.

Ainda para Fahn e Cutler (1992) a alteração nos caracteres morfológicos e fisiológicos de um acesso ou genótipo podem modificar-se, formando-se um fenótipo particular com o resultado dos complexos estímulos ambientais. Neste sentido, acredita-se que as diferenças nas respostas dos espécimes às condições das áreas de caatinga pode estarem ligadas ao genótipo.



**Figura 6.** Secções transversais da região cortical do caule de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (N=5)

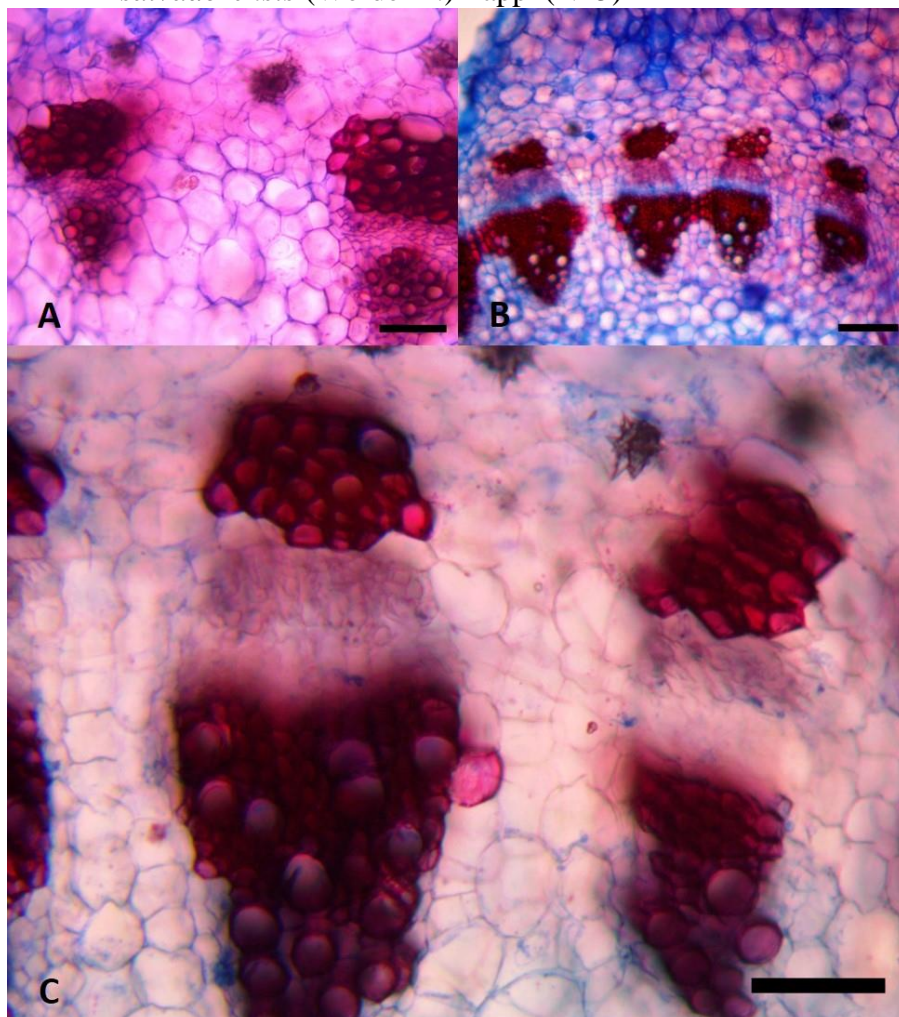


A) Região cortical e região parenquimática, espécime de Arara; B) Região cortical e região parenquimática, espécime de Areial; C) Região cortical e região parenquimática, espécime de Boa Vista, PB; D) Células de mucilagem encontradas em todos os espécimes. Barras: A, B, C e D = 150  $\mu$ m

São visualizados feixes vasculares circundados por uma bainha parenquimática no tecido cortical (Figura 7). Os feixes vasculares e células de mucilagem ocorrem na medula da espécie coletada em todos os ambientes. Sendo as drusas e os amiloplastos presentes na medula (Figuras 7a, b e c). Segundo Arruda et al. (2005) as estruturas secretoras de mucilagem constituem de caracteres adaptativos desse grupo de plantas ao ambiente xérico, uma vez que a mucilagem estaria relacionada ao armazenamento de água (MAUSETH 1999; SILVA e ALVES, 1999; SOFFIATTI e ANGYALOSSY, 2003). A presença desse caractere, já reportados pelos autores é também observado neste trabalho, sendo considerada como um descritor anatômico para a separação entre *Opuntioideae* e *Cactoideae*, uma vez que espécimes representantes de *Cactoideae* apresentam unicamente células mucilaginosas, enquanto que na primeira pode haver células e canais secretores de mucilagem (ARRUDA et al., 2005).

A ocorrência dos feixes vasculares dispersos na região cortical e na medula do caule foram também feitas por Mauseth e Sajeve (1992) e Mauseth (1993) para o gênero *Pilosocereus*. O volume de feixes corticais na estrutura secundária do caule pode estar associado ao processo de diferenciação lenta do procâmbio na espécie (SILVA e ALVES, 1999).

**Figura 7.** Secções transversais da região dos feixes vasculares do caule de *Pilosocereus cattingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi (N=5)



A) Região dos feixes vasculares, espécime de Arara; B) Região dos feixes vasculares, espécime de Areial; C) Região dos feixes vasculares, espécime de Boa Vista, PB. Barras: A e C = 150  $\mu$ m, B = 300  $\mu$ m

O valor adaptativo dos feixes corticais, de acordo com Mauseth e Sajeve (1992), está envolvido no transporte de produtos da fotossíntese do córtex ao estelo, como também evitar o embolismo. Mauseth e Sajeve (1992) reportaram que os feixes corticais como os medulares são responsáveis pelo suprimento do tecido parenquimático cortical e medular. Gibson e Nobel (1986) afirmaram que o floema primário nas Cactaceae expressa-se colapsado e o

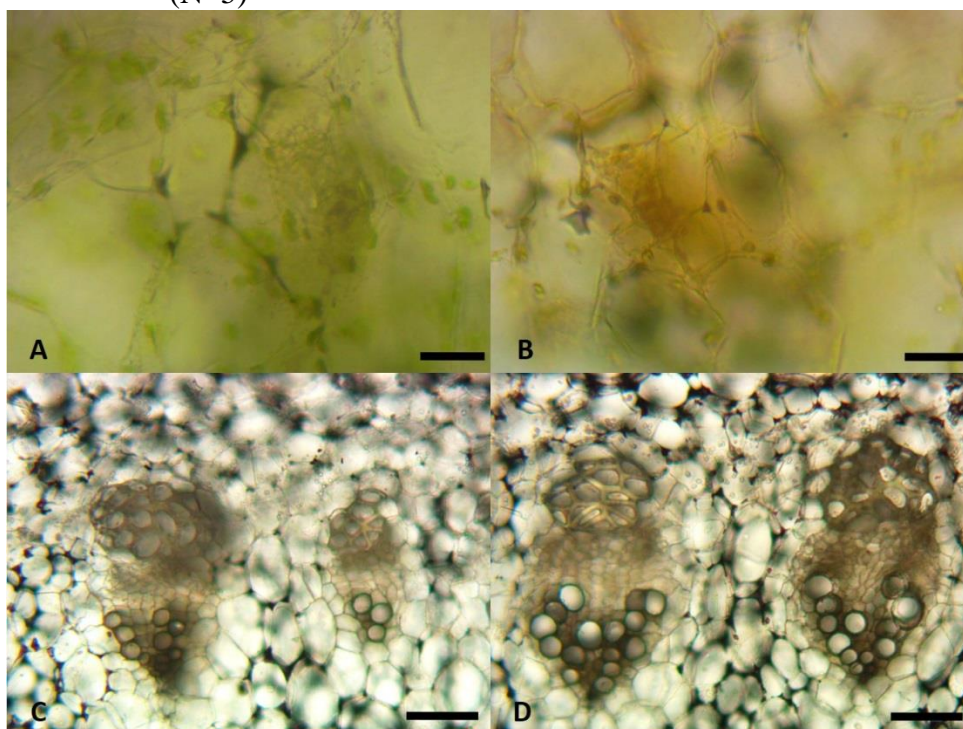


secundário constituído por elementos de tubo crivado e células parenquimáticas. No tocante ao xilema, apresenta-se constituído essencialmente por células parenquimáticas (MAUSETH, 1999).

Os testes histoquímicos revelaram que a ausência de alcaloides para a população de Arara (Figura 8), contudo presente no interior da célula dos indivíduos de Areial e Boa Vista, PB (Figuras 9 e 10). Para essas localidades a presença de alcaloides foi verificada na região das células do córtex com nas células próximas aos feixes vasculares.

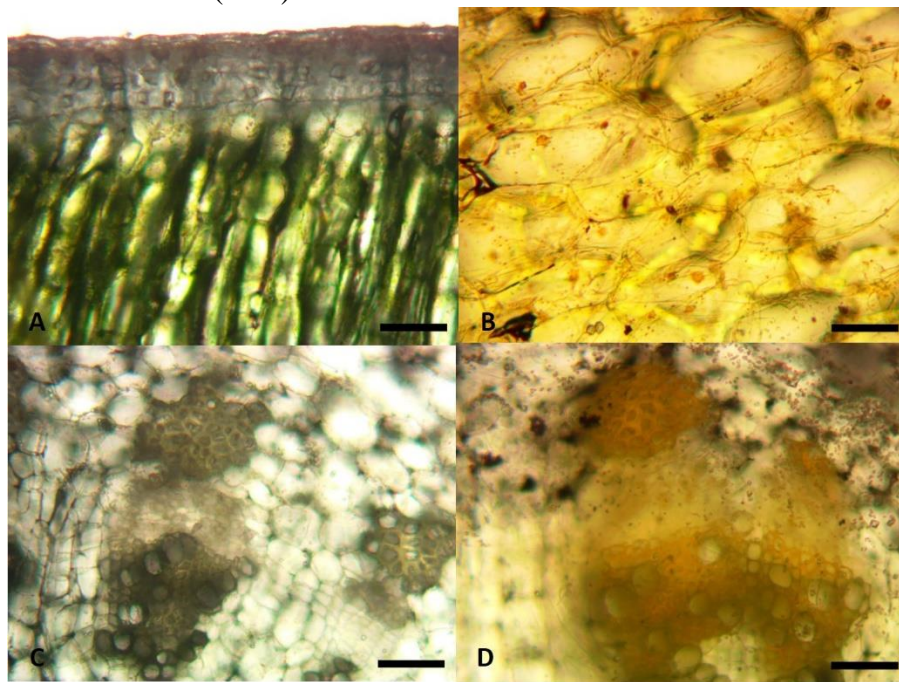
De acordo com Taiz e Zeiger (2013) a maior parte alcalóides são tóxicos, entretanto em doses moderadas são importantes para farmacologia. Agem em nível celular nos herbívoros interagindo com o sistema nervoso, especificamente nos neurotransmissores, ou em nível de membrana afetando o transporte, síntese protéica ou atividade de inúmeras enzimas. Ainda para esses autores, nos cloroplastos são sintetizados alguns alcaloides como conina, quinolizidina, cafeína e alguns terpenos. Nas mitocôndrias são produzidas algumas aminas sendo nas vesículas as protoberberinas. No retículo endoplasmático algumas hidroxilações e compostos lipofílicos e no citosol são sintetizados a maior parte dos compostos hidrofílicos.

**Figura 8.** Teste histoquímico nas secções transversais do caule de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi da população de Arara, PB (N=5)



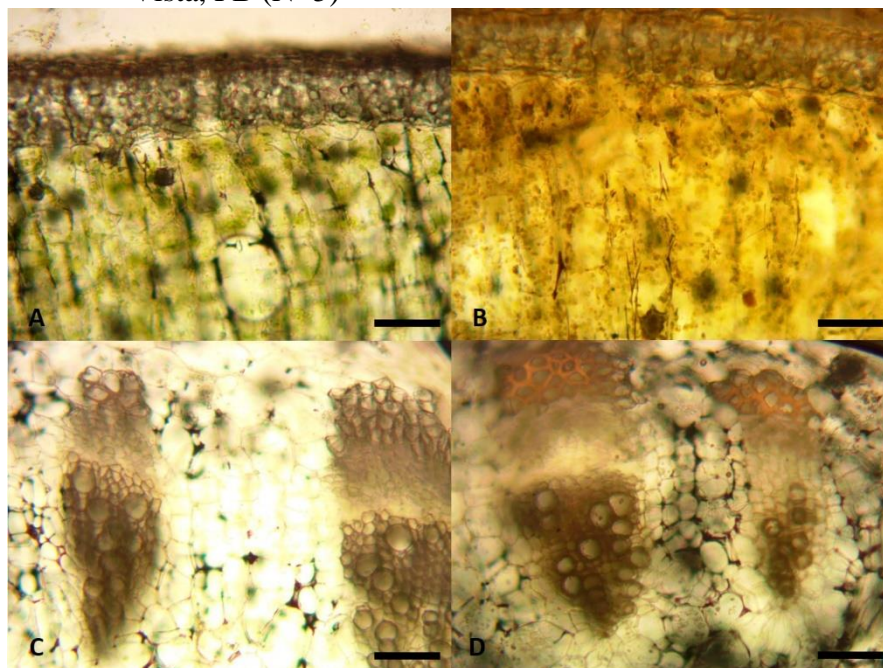
A) Controle da região do córtex do caule; B) Teste para a região do córtex do caule; C) Controle da região dos feixes vasculares do caule; D) Teste para dos feixes vasculares do caule. Barras: A e B = 30  $\mu$ m, C e D = 150  $\mu$ m

**Figura 9.** Teste histoquímico nas secções transversais do caule de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi da população de Areal, PB (N=5)



A) Controle da região do córtex do caule; B) Teste para a região do córtex do caule; C) Controle da região dos feixes vasculares do caule; D) Teste para dos feixes vasculares do caule. Barras: A, B, C e D = 150  $\mu$ m

**Figura 10.** Teste histoquímico nas secções transversais do caule de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi da população de Boa Vista, PB (N=5)



A) Controle da região do córtex do caule; B) Teste para a região do córtex do caule; C) Controle da região dos feixes vasculares do caule; D) Teste para dos feixes vasculares do caule. Barras: A, B, C e D = 150  $\mu$ m

### 3.3 Anatomia e Histoquímica do Fruto

No fruto maduro a epiderme apresenta-se por uma camada fina de células com formato alongado e arredondado (Figura 11a), na porção externa unisseriada, glabra, com paredes periclinais externas um pouco mais espessas e possivelmente ricas em substâncias de caráter lipídico. Na sequência observa-se parênquima, cujas células, maiores, contíguas ao colênquima, tornam-se gradativamente de dimensões mais reduzidas em direção à região dos feixes vasculares (Figura 11b, c e d).

É possível distinguir o mesofilo em duas regiões, sendo uma mais externa, com parênquima clorofiliano, com número maior de estrato de células e lume amplo, aproximadamente isodiamétricas ou interna com células parenquimáticas aclorofiladas tornando-se gradativamente mais alongadas sob a epiderme interna. No mesofilo há presença de grãos de amido.

No parênquima, formações crisalíferas com drusas e células secretoras de mucilagem (Figura 11c, d e e). A vascularização do pericarpo é feita por feixes vasculares de maior porte, que se localizam na região mediana, e por feixes de menor dimensão, situados mais internamente (Figura 11e e f).

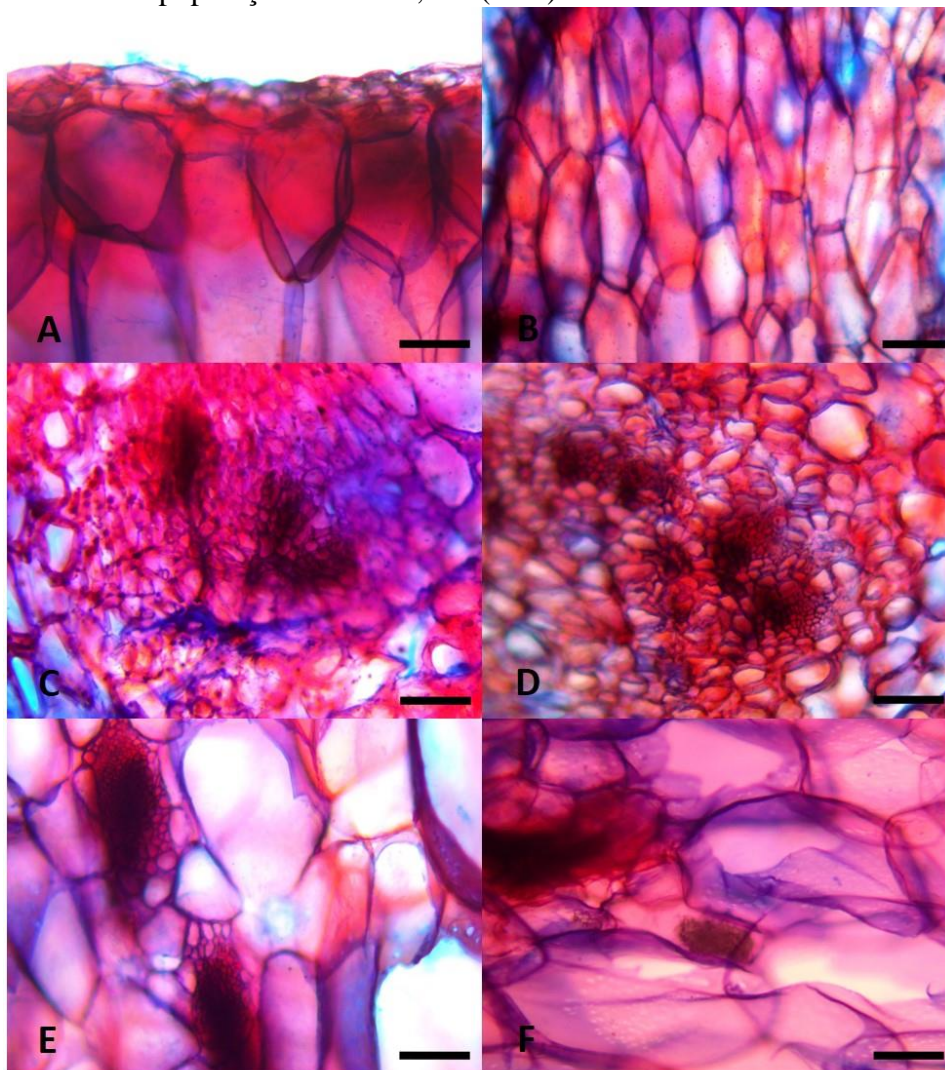
O mesofilo é parenquimático (Figura 9b), cujas células, de paredes delgadas, têm formato e dimensões diferentes. Na camada parenquimática, localizada sob a epiderme interna, observam-se células que sofreram divisões periclinais. Nesse parênquima, ocorrem feixes vasculares dorsais, ventrais e laterais (Figura 4a), do tipo colateral (Figura 4c), e poucas células secretoras (Figura 11c).

O pericarpo maduro é formado de epicarpo unisseriado, cuticularizado, glabro, não estomatífero e com células levemente prismáticas e de paredes delgadas. O mesocarpo é de natureza colenquimática e parenquimática (Figura 11b). Na região mais interna desse parênquima mesocárpico, há poucas células mucilaginosas (Figuras 11d).

O mesocarpo é formado por células menores quando comparadas com as da base e do meio, com algumas cavidades secretoras e feixes vasculares de calibres variados com orientação diversa do xilema (Figura 9e). As cavidades secretoras juntam-se formando uma faixa mucilaginosa, envolvendo algumas camadas de células parenquimáticas (Figura 9e). Na maturidade do fruto a polpa é composta por uma massa mucilaginosa de coloração violácea, proveniente do rompimento de cavidades secretoras, restos células e feixes vasculares.



**Figura 11.** Secções transversais da região cortical e dos feixes vasculares do fruto de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi proveniente da população de Areial, PB (N=5)

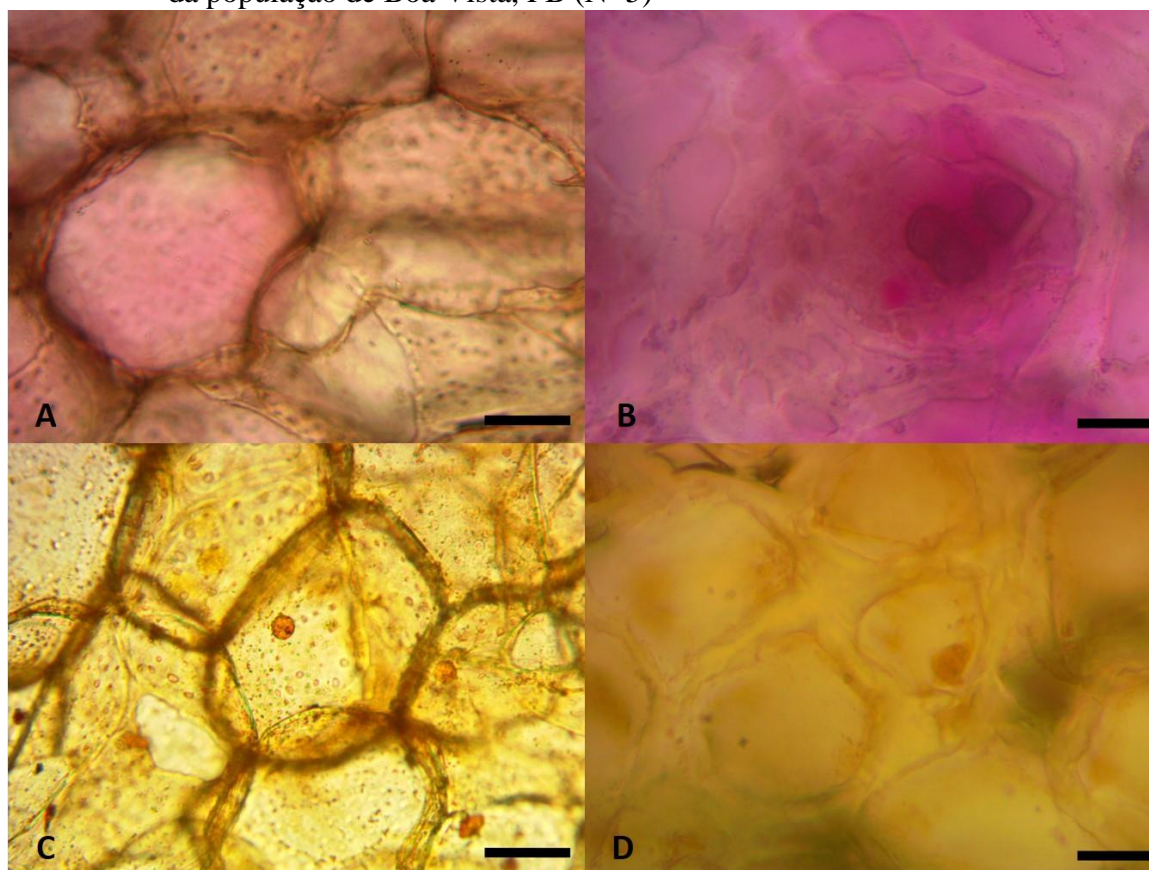


A) Região cortical do fruto, exoderme; B) Região cortical, tecido parenquimático; C) Região dos feixes vasculares; D) Detalhe da região dos feixes vasculares; E) Formação de células de mucilagem e feixes de mucilagem próximas do feixe vascular; F) Drusa de oxalato de cálcio. Barras: A, C, D, E e F = 150 µm, B = 300 µm

O fruto das espécies de *Cactaceae* são complexos, uma vez que podem variar de várias peças florais podem participar de sua formação, sendo a polpa com origem no receptáculo da parede do ovário, dos funículos e tricomas. A classificação do fruto de *Cactaceae* varia na literatura, sendo considerado: baga, cápsula carnosa, acrosarcum, melnídio ou cactídio (ALMEIDA, 2009).

Os testes histoquímicos para a presença de alcaloides foram positivos, apenas para os frutos da área de Areial, uma vez que as plantas apresentavam-se em frutificação na época da coleta (Figura 12).

**Figura 12.** Teste histoquímico nas secções transversais do fruto de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi da população de Boa Vista, PB (N=5)



A) Controle da região do córtex do fruto; B) Controle da região dos feixes vasculares; C) Teste para a região do córtex do fruto com presença de alcaloides, pontoações alaranjadas no interior da célula; D) Teste para a região dos feixes vasculares. Barras: A e C = 150  $\mu$ m, B e D = 30  $\mu$ m

Possivelmente, a presença de alcaloides nos frutos trata-se de um grupo de cromóalcoide conhecido por betalaínas reportados em diversos estudos com cactáceas e cariofiláceas (STINTZING et al., 2002; WYBRANIEC et al., 2007; CASTELLANOS-SANTIAGO et al., 2008; JERZ et al., 2008; WYBRANEC et al., 2009; GANDÍA-HERRERO e GARCÍA-CARMONA, 2013). Sendo esse grupo de metabólitos com efeitos benéficos em organismos vivos por expressarem potencial antioxidante, evitando assim o estresse oxidativo causado pelo metabolismo celular, sobretudo por peroxidades e espécies reativas de oxigênio (ROS). Em cactáceas cultivadas, sobretudo as do gênero *Opuntia*, as betalaínas já vem sendo estudadas como fonte promissora de compostos antioxidantes (STINTZING et al., 2002; WYBRANIEC et al., 2007; WYBRANEC et al., 2009).

#### 4 CONCLUSÕES

A região cortical das raízes, do caule e fruto de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi apresentam drusas de oxalato de cálcio presentes nos raios parenquimáticos. Na espécie são encontradas células especializadas no armazenamento de água e espessamento da exoderme. Também, constata-se a presença de alcaloides na região do córtex e nas células próximas aos feixes vasculares.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, O. J. G. **Morfoanatomia dos órgãos reprodutivos e da plântula de *Epiphyllum phyllanthus* (L.) Haw. (Cactaceae).** 102 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós Graduação em Ciências Biológicas – Biologia Vegetal). Universidade Estadual Paulista. Rio Claro, 2009.

ARECES, A. Cactaceae. *In*: Smith, N. (Ed.) **Flowering plants of the neotropics**, pp. 73 76. The New York Botanical Garden, Princeton University Press, 2004.

ARRUDA, E.; MELO-DE-PINNA, G. F.; ALVES, M. Anatomia dos órgãos vegetativos de Cactaceae da caatinga pernambucana. **Revista Brasileira de Botânica**, v. 28, n. 3, p. 589-601, 2005.

BARTHLOTT, W.; D. R. HUNT. Cactaceae. Pages 161-196 in The Families and Genera of Vascular Plants. v. 2. K. Kubitzki (ed.). Berlin, Springer-Verlag. 1993. Botany 72:81-89. **Bradleya** 17:27-37.

CASTELLANOS-SANTIAGO, E.; YAHIA, E.M. Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 56, 5758–5764. 2008.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Campina Grande, estado da Paraíba.** João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 20 p., 2005a.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Boa Vista, estado da Paraíba.** João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 19 p., 2005b.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Monteiro, estado da Paraíba**. João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 11 p., 2005c.

DETTKE, G. A.; MILANEZE-GUTIERRE, M. A. **Anatomia caular de espécies epífitas de Cactaceae, subfamília Cactoideae**. *Hoehnea* 35(4): 583-595, 1 tab., 37 fig., 2008.

FAHN, A.; CUTLER, D. **Xerophytes**. Berlin: Gebrüder Borntraeger, 1992.

GANDIA-HERRERO, F.; GARCÍA-CARMONA, F. Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 6. 2013.

GANONG, W. F. Present problems in the anatomy morphology and biology of the Cactaceae. **Botanical Gazette**, 20: 129-138; 213-221.

GIBSON, A. C. E HORAK, K. E. 1978 Systematic anatomy and phylogeny of mexican cacti. **Annals of Missouri Botanical Garden**. 65:999-1057.

GIBSON, A.C. & NOBEL, P.S. 1986. **The cactus primer**. Harvard University Press, Cambridge.

JERZ, G.; SKOTZKI, T.; FIEGE, K.; WINTERHALTER, P.; WYBRANIEC, S. Separation of betalains from berries of *Phytolacca americana* by ion-pair high-speed counter-current chromatography. **Journal of chromatography A** 1190 (2008) 63.

JOHANSEN, D. A. **Plant microtechnique**. New York: McGraw-Hill Book Co. Inc., 1940. 523 p.

MAUSETH, J. & SAJEVA, M. Cortical bundles in the persistent, photosynthetic stems of cacti. **Annals of Botany** 70:317-324. 1992.

MAUSETH, J. Comparative anatomy of *Espostoa*, *Pseudoespostoa*, *hrixanthocereus* and *Vatricania*. **Bradleya** 17:27-37. 1999.

MAUSETH, J. D. Anatomical features, other than wood, in subfamily Opuntioideae (Cactaceae) **Haseltonia** 11: 113–125. 113 2005.

MAUSETH, J. D. Cacti and other succulents: stem anatomy of “other succulents” has little in common with that of cacti. **Bradleya** 22: 131–140. 2004a.

MAUSETH, J. D. The structure of photosynthetic, succulent stems in plants other than cacti. **International Journal of Plant Sciences** 165: 1–9. 2004b.

MAUSETH, J. Water-storing and cavitation preventing adaptations in wood of Cacti. **Annals of Botany** 72:81-89. 1993.

METCALFE, C. R.; CHALK, L. **Anatomy of the dicotyledons**: leaves, stem, and wood in relation to taxonomy with notes on economic uses. Oxford: Clarendon Press, 1972.

NYFFELER, R. Phylogenetic relationships in the cactus family (*Cactaceae*) based on evidence from *trnK/matK* and *trnF* sequences. **American Journal of Botany**, n. 89, p. 312-326, 2002.

OGBURN, R. M.; R.; EDWARDS, E. J. Anatomical variation in cactaceae and relatives: trait lability and evolutionary innovation. **American Journal of Botany** 96(2): 391–408. 2009.

SASS, J. E. **Botanical microtechnique**. 2. ed. Ames: The Iowa State College Press, 1951. 391 p.

SILVA, D. C.; ALVES, J. L. H. Anatomia dos órgãos vegetativos de seis espécies de *Pylosocereus* Byles & Rowley (Cactaceae). **Boletim de Botânica da Universidade de São Paulo**, v. 18, p. 53-60, 1990.

SILVA, M. M. B. et al. Anatomy of leaf and stem of *Erythrina velutina*. **Revista Brasileira de Farmacognosia**, v. 23, n. 2, p. 200-206, 2013.

SOFFIATTI, P. & ANGYALOSSY, V. Stem anatomy of *Cipocereus* (Cactaceae). **Bradleya** 21:39-48. 2003.

STINTIZING, F.C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**.50, 2302–2307. 2002.

TAIZ, L.; ZEIGER, E. **Fisiologia Vegetal**. (Trad. Armando Molina Divan Junior; Rev. Paulo Luiz de Oliveira), 5 ed. Porto Alegre: Artmed, 2013.

TERRAZAS, T. & MAUSETH, J.D. **Stem anatomy and morphology**. In: P.S. Nobel (ed.) The cacti: biology and uses. California University Press, Berkeley, pp.47-60. 2002.

WYBRANIEC, S.; NOWAK-WYDRA, B. Mammillarinin: A New Malonylated Betacyanin from Fruits of *Mammillaria*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2007, 55, 8138–8143.

WYBRANIEC, S.; STALIC, P.; JERZ, G.; KLOSE, B.; GEBERS, N.; WINTERHALTER, P.; SPÓRNA, A.; SZALENIEC, M.; MIZRAHI, Y. Separation of polar betalain pigments from cacti fruits of *Hylocereus polyrhizus* by ion-pair high-speed countercurrent chromatography. **Journal of Chromatography A**, 1216 (2009) 6890–6899. 2009.

ZAPPI, D. C. *Pilosocereus* (Cactaceae). The genus in Brazil. **Succulent Plant Research** 3. 1994.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N. Diversidade e endemismo das cactaceae na cadeia do Espinhaço. **Revista Megadiversidade**, v. 4 nº1-2, 2008.

## **CAPÍTULO V:**

### **FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Pilosocereus cattingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**



## CAPÍTULO V:

### FENOLOGIA REPRODUTIVA DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

#### RESUMO

*Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi é uma das espécies com maior valor de importância ecológica dentro de algumas fitofisionomias do Agreste da Paraíba, no entanto informações sobre sua ecologia são necessários haja vista a necessidade de programas de conservação e uso desses espécimes na região. Neste sentido, o objetivo do estudo foi ampliar o conhecimento sobre a fenologia da família *Cactaceae* no Brasil por meio da avaliação dos eventos fenológicos de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* em áreas de caatinga do Agreste do estado da Paraíba. Foram marcados 30 indivíduos com altura mínima de 2,0 m selecionados ao longo de áreas contíguas de caatinga. As fenofases foram quantificadas usando-se o índice de atividade, porcentagem de indivíduos na fenofase e um índice de intensidade, obtido através da contagem do número de estruturas produzidas em cada uma das fenofases observadas por planta. A série de dados da precipitação pluvial foi adquirida na Agência Executiva de Águas da Paraíba (AESPA) durante os anos de 2014-2015 e os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram adquiridos por meio de consulta ao Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia pelo mesmo período. A relação entre os eventos fenológicos e os descritores climáticos foi realizado por meio de correlação se Spearman com auxílio do aplicativo BioEstat versão 5.0. Os padrões fenológicos seguem a série de precipitação pluvial com correlação positiva com todas as fenofases reprodutivas. O pico período de floração ocorre em fevereiro e as fenofases de botões florais, antese e frutificação em março na população na área de Arara. A temperatura é o componente climático com maior correlação positiva em todas as fenofases reprodutivas dos espécimes, com efeito significativo na floração. Há correlação negativa entre a umidade do ar e a manifestação das fenofases na população de Arara. Na população de Areial, os padrões fenológicos correlacionam-se negativamente com os eventos de precipitação pluvial. O período de floração, exceto em agosto, ocorre ao longo de todo ano, o pico da floração em abril, botões florais, antese e frutificação em março. A temperatura é um dos componentes climáticos de maior influência nas fenofases de floração, botões florais e antese em Areial. A umidade do ar apresenta correlação negativa com a maior parte fenofases estudadas, exceto para fenofase de frutificação. Os padrões fenológicos da população de Boa Vista acompanham os eventos pluviais, térmicos e em menor escala umídicos. Esses espécimes apresentam floração em fevereiro e abril, botões florais, floração em março. A temperatura possui correlação positiva para todas as fenofases, com significância na fase de botões florais. Em Boa Vista a umidade do ar apresenta correlação positiva com todas as fenofases reprodutivas estudadas.

**PALAVRAS-CHAVE:** Facheiro, Caatinga, Conservação.

## CHAPTER V:

### REPRODUCTIVE PHENOLOGY OF *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

#### ABSTRACT

*Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi is one of the species with the highest value of ecological importance in some vegetation types of the Wasteland of Paraíba, however information on its ecology are necessary considering the conservation and use programs of this specimens in the region. In this sense, the objective was to increase knowledge of the Cactaceae family phenology in Brazil by assessing the *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* phenology in *caatinga* areas of the Wasteland of Paraíba. Were marked 30 individuals with a minimum height of 2.0 m selected over contiguous areas of *caatinga*. The phenophases were quantified using the activity index, the percentage of individuals in the phenophase and an intensity index, obtained by counting the number of structures produced in each phenophase observed per plant. The series of rainfall data was acquired in the *Agência Executiva de Águas da Paraíba* (AESA) during 2014-2015 years and the temperature and relative humidity were acquired through consultation with the *Banco de Dados Meteorológicos* (BDMEP) of the National Institute of Meteorology for the same period. The relationship between phenology and climate descriptors was performed by Spearman correlation in the BioEstat version 5.0 application. The phenological patterns follow the rainfall series with positive correlation with all reproductive phenophases. The peak blooming period occurs in February and the phenophases of flower buds, blooming and fruiting in March in the population of Arara. The temperature is the climate component positively correlated with all reproductive phenological phases in all the specimens, with a significant effect on flowering. Negative correlation between the humidity and the manifestation of phenophases in the Arara population. In the population of Areial, the phenological patterns correlate negatively with precipitation events. The flowering period, except in August, occurs throughout the year, the peak of flowering is in April, buds blooming and fruiting in March. Temperature is one of the most influential climatic components in the flowering phenophases, buds blooming and anthesis in Areial. The humidity has a negative correlation with most phenophases studied, except for fruiting phenology. The phenological patterns of the population of Boa Vista accompanying rainfall events, thermic and humidic ones. These specimens show flowering in February and April, blooming buds and flowering in March. The temperature has a positive correlation for all phenophases, with significance at the stage of flower buds. In Boa Vista humid air is positively correlated with all reproductive phenophases studied.

**KEYWORDS:** Facheiro, Caatinga, Conservation.

## 1 INTRODUÇÃO

O Nordeste do Brasil possui área territorial aproximada de 935.000 Km<sup>2</sup>, cuja a vegetação predominante é a Caatinga (RODAL e SAMPAIO, 2002), apresentando 58 espécies de Cactaceae (TAYLOR e ZAPPI, 2002).

Os aspectos ecológicos dessa família vêm sendo estudados no Brasil como dispersão, polinização e distribuição (LOCATELLI et al. 1997; LOCATELLI e MACHADO 1999a, 1999b; QUIRINO, 2006; LUCENA, 2007; SANTOS, 2009; BARBOSA, 2011). Entretanto, existe uma lacuna em descritores fenológicos, apesar do ser Brasil considerado o terceiro maior centro de diversidade de *Cactaceae*, com aproximadamente 200 espécies (SOUZA et al., 2005). Trabalhos sobre a fenologia na família ainda são escassos, dentre os mais recentes destacam-se o de Quirino (2006) e Lucena (2007).

A fenologia pode ser definida como o estudo da ocorrência de eventos biológicos com características repetidas e das causas de sua ocorrência em relação às forças seletivas bióticas e abióticas e da interrelação entre as fases caracterizadas por estes eventos, numa mesma e em espécies diferentes (MORELLATO, 1987).

De acordo com Newstrom et al. (1994), a fenologia dedica-se ao ritmo de eventos recorrentes que afetam não somente as espécies vegetais, como também os animais que dependem dos recursos vegetais. Sendo a informação fenológica a respeito das comunidades útil no estudo das interações animal - planta, que afetem a polinização, dispersão, predação de sementes e das variações na distribuição dos recursos alimentares, pólen, néctar, frutos e sementes.

Segundo Fournier (1969) citado por Novoa et al. (2005) os estudos fenológicos são importantes para a compreensão da dinâmica das comunidades vegetais e de como indicadores da resposta dos organismos às condições climáticas e edáficas de uma área em particular. Neste sentido, as fenofases da espécie pode afetar uma planta em múltiplos níveis, incluindo os sucessos reprodutivos individuais da planta, interações com outros organismos, dinâmica de populações e os nichos nos ecossistemas (MCINTOSH, 2002).

Com exceção de *Rhipsalis baccifera* com distribuição natual na África Tropical e no Sri Lanka família, as Cactaceae ocorrem por toda a região da América Tropical com aproximadamente 1.900 espécies, das quais 300 estão distribuídas em 100 gêneros (ARECES, 2004). Subdividida em três subfamílias: *Pereskioideae*, *Opuntioideae* e *Cactoideae* (NYFFELER, 2002), seus espécimes possuem ampla adaptação aos ambientes áridos e

semiáridos continentais, Barthlott (1993) as descreve como árvores perenes, arbustos ou trepadeiras, apresentando caule suculento e adaptações tanto morfológicas quanto na estrutura floral, com diferentes tipos de sistemas de polinização.

As formações vegetais da caatinga são o centro de diversidade da tribo *Cereeae*, sendo o centro norte do México e região semiárida do Oeste dos Estados Unidos caracterizados pelas tribos *Cactae* e *Pachycereeae* e Na a região Andina do Peru, Bolívia, Chile e Argentina caracteriza-se pela ocorrência dos representantes de *Browningieae*, *Notocactaeae* e *Trichocereaeae* (BARTHLOTT e HUNT, 1993).

O facheiro pertence ao gênero *Pilosocereus* encontrado no México e na América do Sul, pertencente à subfamília *Catoideae*, tribo *Cereeae*. O gênero *Pilosocereus* Byles & Rowley, compreende de 36 espécies neotropicais (ZAPPI, 1994). Com maior ocorrência no Brasil com aproximadamente 26 espécies, distribuídas na caatinga, em rochas, em afloramentos rochosos, nas florestas de espinho e agrestes e nos campos rupestres do Planalto Brasileiro (ZAPPI, 1994). Segundo Zappi (2008) de 160 cactáceas ocorrentes em nosso país, 42 espécies, representando 26% da família ocorrem nos campos rupestres, ao passo que 31% estão distribuídas na caatinga.

Lucena (2007) estudando padrões fenológicos em cinco espécies do gênero *Pilosocereus* estudadas demonstrou que o padrão de floração foi contínuo, enquanto que outras espécies como *Cereus* e *Harrisia adscendens* apresentaram eventos anuais de floração, com picos na estação seca. Para o mesmo, as respostas distintas a fatores bióticos, como polinizadores e dispersores, e abióticos, como precipitação e tipo de solo, devem ocorrer nas espécies e podem justificar as diferenças de padrões reprodutivos observados. Quirino (2006) acrescenta que a influência o padrão de floração em *Pilosocereus* é direcionada através de fatores genéticos, mas a frequência da floração parece ter uma correlação com diversos caracteres ecológicos, como por exemplo os polinizadores. A síndrome de polinização para os representantes deste gênero é quiropterófila (LUCENA, 2007).

Neste sentido, objetivo do estudo foi ampliar o conhecimento sobre a fenologia da família Cactaceae no Brasil por meio da avaliação dos eventos fenológicos de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga do Agreste do estado da Paraíba, com vistas ao estabelecimento de uso, manejo e conservação da espécie na região.

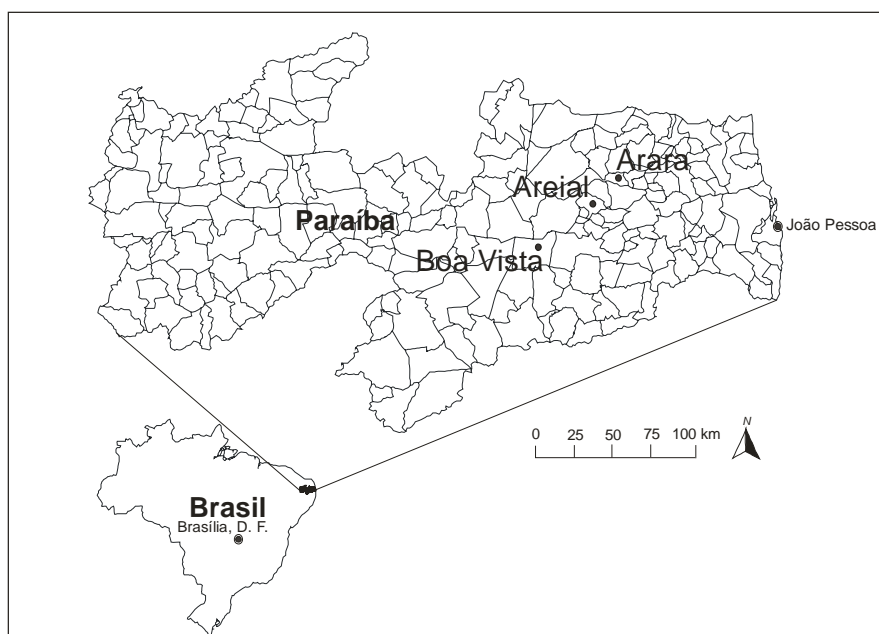
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Áreas de Monitoramento

As áreas de monitoramento situam-se em fragmentos florestais de caatinga localizados nos municípios de Arara (25 M 192007 9243179 UTM), Areial (25 M 175834 9218837 UTM) e Boa Vista, PB (24 M 698981 9133272 UTM) (Figuras 1 e 2), com características de fitofisionomias sucessionais localizadas na mesorregião do Agreste do estado da Paraíba (Figura 2).



**Figura 1.** Populações de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi monitoradas, caatingas dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB (respectivamente) mesorregião do Agreste do estado da Paraíba



**Figura 2.** Representação geográfica das áreas de monitoramento das populações de Populações de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil

A fitofisionomia do município de Arara localizado na mesorregião do Agreste paraibano, com altitude aproximada de 467 metros, inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, os recursos vegetais destas áreas apresentam-se por espécies caducifólicas e subcaducifólicas, apresenta clima do tropical chuvoso e verão seco, a precipitação pluvial média anual de 666.13 mm (CPRM, 2005a). O solo apresenta-se em sua maior parte como um NEOSSOLO pouco profundo. O corte seletivo de madeira, pastejo do gado bovino durante a estação seca estão presentes aparentemente como características degradativas da vegetação local.

A fitofisionomia de Areial localiza-se sobre o Planalto da Borborema com formações de florestais secundárias e vegetação com característica subcaducifólica e caducifólica. Apresenta clima tropical chuvoso e verão quente e seco com chuvas de janeiro a outubro, sendo a precipitação pluvial média anual de 679,7 mm. Os solos ligeiramente ondulados com presença de PLANOSSOLOS, fortemente drenados, moderadamente ácidos e fertilidade natural média a alta (CPRM, 2005b). Grande parte da vegetação encontra-se fragmentada e “ilhas” vegetacionais são observadas por longas áreas. É possível incluir a vegetação nativa em um agroecossistema local, com cultivo de culturas anuais, bem como a utilização dos recursos vegetais para o pastejo dos rebanhos bovino, asininos e muares.

A fitofisionomia de Boa Vista apresenta fertilidade do solo de média a alta, coberto por formações vegetais de caatinga onde as espécies vegetais passam pela caducifolia na estação seca, com clima tropical chuvoso e verão quente e seco. O caráter xérico desta área é caracterizado pela precipitação pluvial média anual de 443,93 mm e presença de solos mais intemperizados como os solos PLANOSSOLOS com fertilidade média. Há vales com presença de planossolos mal drenados e afloramento de rochas ao longo da paisagem (CPRM, 2005c). Essa fitofisionomia apresenta-se como uma das mais conservadas entretanto, mais recentemente foi verificado a entrada do rebanho caprino e bovino para o pastejo controlado durante a estação seca.

As três áreas de monitoramento foram escolhidas por apresentarem características de formações florestais de caatinga em diferentes níveis de sucessão ecológica, bem como em todas elas foram registradas previamente a ocorrência natural de *Cactaceae* com elevada abundância de *Pilosocereus cattingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi e sendo esta espécie uma das mais contribuidora para o valor de importância

ecológica nesta fitofisionomia (BARBOSA, 2011), assim como subsidiar e contribuir com informações sobre a ecologia da espécie na região.

## 2.2 Avaliação Fenológica das Populações

A avaliação dos padrões fenológicos foi realizada em duas etapas, a primeira com início durante a primeira quinzena de março de 2014 e se estendeu até a segunda de maio de 2014, período fenológico observado quinzenalmente onde se avaliou as fenofases de floração e frutificação. A segunda etapa iniciou após a segunda quinzena de maio e se estendeu até março de 2015 com o advento do início da floração e frutificação da espécie, sendo neste período as avaliações realizadas a cada trinta dias.

Foram marcados 30 indivíduos com altura mínima de 2,0 m selecionados ao longo de áreas contíguas de caatinga, previamente demarcadas em estudos exploratórios de Barbosa (2011). As fenofases foram quantificadas calculando o número de estruturas reprodutivas em cada espécime selecionado. Foram observadas as fenofase de botão floral, flor aberta, fruto imaturo e frutos maduros (Figura 3a, b, c e d, respectivamente). Por do qual foi possível calcular a porcentagem de indivíduos na fenofase e sincronia dos eventos fenológicos ao longo do período de estudo.

A série de dados da precipitação pluvial foi adquirida na Agência Executiva de Águas da Paraíba (AESPA) durante os anos de 2014-2015 e os dados de temperatura e umidade relativa do ar foram adquiridos por meio de consulta ao Banco de Dados Meteorológicos (BDMEP), do Instituto Nacional de Meteorologia pelo mesmo período.

Para avaliar a existência de relação entre o número de plantas em cada uma das fenofases observadas e o número de estruturas reprodutivas mensais, foram realizadas correlações entre as variáveis climáticas – temperatura, umidade e precipitação pluvial, por meio do coeficiente de correlação de Spearman ( $r_s$ ) (Zar 1999), de acordo com a expressão:

$$\rho = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{(n^3 - n)}$$

Onde:

$d_i$  = a diferença entre cada posto de valor correspondentes de x e y, e;  $n$  = o número dos pares dos valores.

Os procedimentos foram realizados com o auxílio do aplicativo BioEstat versão 5.0 (AYRES et al., 2007).

Para a identificação do material foram coletadas partes morfológicas da espécie com presença aparente de descritores. O material foi acondicionado em estufa por 48 horas, em seguida foram preparadas as exsicatas. O material foi enviado para “Herbário Jayme Coelho de Moraes” (EAN-UFPB), em Areia, para comparação com exsicatas que fazem parte da coleção do herbário, como também, foram feitas comparações com materiais por meio de literatura especializada. A sinonímia e a grafia do táxon foram atualizadas mediante consulta ao índice de espécies do banco de dados Tropicos® do *Missouri Botanical Garden*, Saint Louis, Missouri, EUA.



**Figura 3.** Fenofases reprodutivas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em áreas de caatinga do Agreste do estado da Paraíba. (a) botão floral, (b) flor aberta (c) fruto verde (d) fruto maduro 2014-2015



## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Fenofases Reprodutivas da População de Arara, PB

O período de ocorrência da floração nos espécimes selecionados ocorreu por quase todos os meses do ano, exceto no mês de agosto do ano de 2014, tendo sido observada maior intensidade nos meses de fevereiro (60%), janeiro (33%), junho (23%) e abril (23%) (Figura 3a, b e c). Sendo setembro (13%), dezembro (13%), julho (10%) e outubro (10%) onde a população demonstrou menor intensidade para esta fenofase (Figura 3a, b e c).

Lucena (2007) estudando fenologia de espécies quiropterófilas e esfingófilas em áreas de caatinga demonstrou que os espécimes do gênero *Pilosocereus* ocorreu de forma regular durante o período de estudo, apresentando estruturas reprodutiva (flores/frutos) ao longo do ano, com maior intensidade no início da estação chuvosa. Outra observação foi a manifestação desta fenofase sincrônica inter-específica durante os picos das fenofases.

A ocorrência dos botões florais (Figura 4a, b e c) foram observadas ao longo de todo o ano, com maior intensidade nos meses de março (93,3%), janeiro (93,3%), fevereiro (86,7%), maio (83,3%), abril (70%), novembro (70%) e dezembro (70%). Nos meses do agosto (36,7%), outubro (33,3%) e setembro (23,3%) caracterizam-se por apresentarem baixo número de espécimes manifestando esta fenofase.

A flor aberta é constatada ao longo de todo ano, sendo os meses de março (60%), maio (56,7%), dezembro (43,7%) e janeiro (40%) caracterizados pela maior expressão de início da antese na população, julho (10%), outubro (10%) e setembro (6,7%) os meses com menor intensidade desta fenofase. Os espécimes de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* apresentam picos de floração no final da estação seca e meados da estação chuvosa.

A presença de frutos verdes ocorre ao longo de todo ano, com maior intensidade nos meses de março (96,7%), fevereiro (93,3%) e janeiro (83,3%); com exceção de agosto e setembro, a presença de frutos maduros foi observada nessa população, seguindo padrão semelhante. Março (63,3%), fevereiro (53,3%) e abril (36,6%) são os meses com maior intensidade e sincronia para esta fenofase na população de Arara, PB.

Os meses de agosto (26,7%), outubro (20%) e setembro (16,7%) caracterizam-se pelo baixo aporte de estruturas propagativas imaturas na população e maio (6,7%), novembro (6,7%) e outubro (3,3%) com redução da intensidade de observação da fenofase de plena maturação.

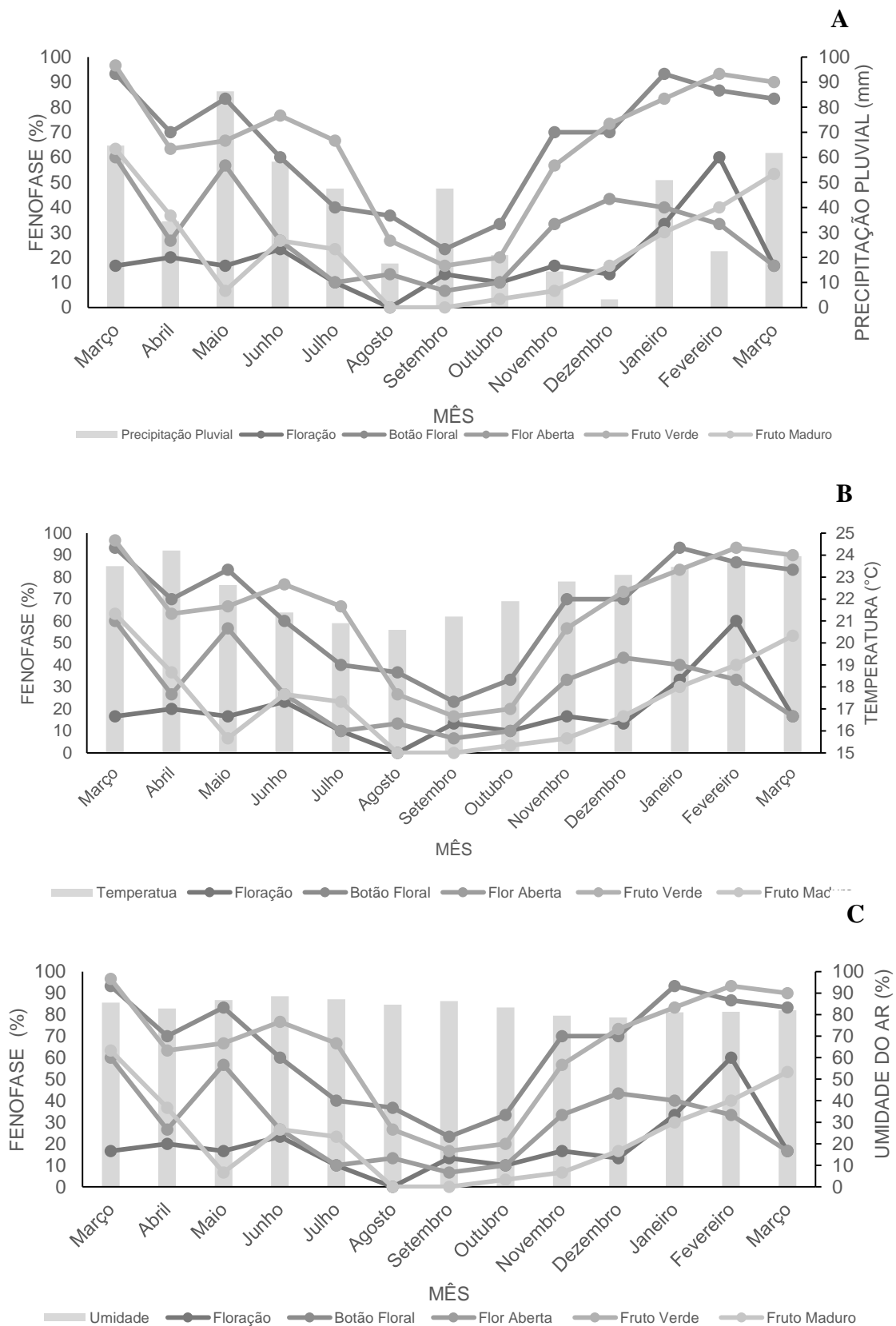
A intensa herbivoria em flores de *Cactaceae* por *Trigona spinipes* influencia diretamente no número de frutos produzidos, no estudo realizado por Lucena (2007), as espécies de *P. chrysostele* e *P. gounellei* apresentaram cerca de 50-80% dos botões e das flores destruídos por esses insetos, influenciando-se assim no número de frutos produzidos nestas espécies.

Os padrões fenológicos tendem a seguir a série de precipitação pluvial (Figura 4a), seguindo a correlação positiva com todas as fenofases reprodutivas da espécie (Tabela 1). A manifestação da frutificação em estudo realizado por Quirino (2006) esteve fortemente correlacionada positivamente com os eventos de precipitação, em *P. gounellei*.

Ao que parece, os padrões fenológicos seguem a tendência da série de temperatura (Figura 3b) e constitui num dos elementos climáticos com maior influência em todas as fenofases reprodutivas de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis*, com efeito significativo na fase de floração ( $rs = 0,65$ ;  $P < 0,05$ ), botões florealis ( $rs = 0,74$ ;  $P < 0,01$ ), abertura da flor ( $rs = 0,60$ ;  $P < 0,05$ ), frutos verdes ( $rs = 0,56$ ;  $P < 0,05$ ) e frutos maduros ( $rs = 0,71$ ;  $P < 0,01$ ) (Tabela 1). Entretanto, a umidade do ar apresenta não apresenta relação direta com as fenofases da população na área em estudo (Figura 3c) e verificou-se correlação negativa com todas as fenofases estudadas da espécie em Arara, PB (Tabela 1).

**Tabela 1.** Correlação de Spearman ( $rs$ ) com suas respectivas probabilidades ( $p$ ) entre temperatura, precipitação, umidade e as reprodutivas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Arara, PB

	Fenofase				
	Floração	Botão floral	Flor aberta	Fruto verde	Fruto maduro
Precipitação	$rs = 0,34$	0,42	0,23	0,46	0,44
	$p = 0,25$	0,15	0,43	0,11	0,12
Temperatura	<b><math>rs = 0,65</math></b>	<b>0,74</b>	<b>0,60</b>	<b>0,56</b>	<b>0,71</b>
	<b><math>p = 0,015</math></b>	<b>0,003</b>	<b>0,028</b>	<b>0,040</b>	<b>0,006</b>
Umidade	$rs = -0,19$	-0,38	-0,32	-0,16	-0,18
	$p = 0,51$	0,19	0,27	0,58	0,54



**Figura 4.** Comportamento das fenofases reprodutivas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Arara, PB. (a) Temperatura, (b) precipitação e (c) umidade relativa do ar

#### 4.2 Fenofases Reprodutivas da População de Areial, PB

O período de floração nesses espécimes ocorreu por quase todos os meses do ano, exceto no mês de agosto do ano de 2014, onde foi constatada ausência da fenofase. A maior intensidade nos meses ocorreu nos meses de abril (73,3%) e março (70%) e em julho (6,7%), novembro (6,7%), dezembro (6,7) e setembro (3,3) os meses onde essa intensidade reduzida na população.

Os botões florais foram observados ao longo de todo o ano, com maior intensidade nos meses de março (96,7%), abril (93,3%), maio (86,7%) e junho (63,3%). Os meses de outubro (20%), agosto (16,7) e setembro (13,3%), caracterizam por baixa intensidade de espécimes manifestando a fenofase.

Com exceção do mês de agosto, a presença de espécimes com flor aberta foi constatada ao longo do período de estudo, sendo os meses de março (96,7%), abril (76,7%) e maio (53,3%) caracterizando o período de maior intensidade desta fenofase, já nos meses de outubro (6,7%), julho (3,3%) e setembro (3,3%) foram observados reduzidos espécimes apresentando essas estruturas reprodutivas.

As espécies do gênero *Pilosocereus* são caracterizadas por apresentarem produção constante de flores e frutos, conhecido por padrão “*stead-state*” sensu (NEWSTROM et al., 1994). Quirino (2006) acrescentou que o padrão de floração na espécie é direcionado por fatores genéticos, todavia a intensidade da floração aparenta ter uma correlação com vários fatores ecológicos, como a interação planta-polinizador, proporcionando a este recurso alimentar e nutritivo.

A presença de frutos imaturos ocorre ao longo de todo ano, para essa fenofase a espécie apresentou total sincronia, onde em março (100%) a intensidade apresentou valor máximo, seguido de abril (96,7%), maio (80%) e junho (63,3%); abril (73,3%), março (66,7%) e maio (40%) foram os meses de maior oferta de frutos em estágio de maturação completa, embora a espécie apresentou frutificação imatura ao longo de todo ano, a presença dessas estruturas maduras não foram observadas nos meses de outubro, novembro e dezembro.

O pico da produção de frutos no início e durante a estação chuvosa observado nessa população de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* parece ser uma estratégia comum desses espécimes, possibilitando-os maior eficiência no processo de germinação, por meio do melhor uso da água e da umidade do solo nessa estação (LUCENA, 2007).

Nos meses de setembro (13,3%) e outubro (6,7%) são caracterizados pelo baixo aporte de estruturas propagativas imaturas na população e agosto (10%), julho (6,7%) e setembro (3,3%) com redução da intensidade do estágio de maturação plena.

Com exceção da temperatura, os padrões fenológicos não seguem a tendência da precipitação pluvial e da umidade em Areial (Figura 5a, b e c). De modo geral os padrões fenológicos dessa população correlacionaram-se negativamente para com a precipitação pluvial, a exceção da fenofase de frutificação madura, embora não apresentando resultados significativos (Tabela 2), observa-se, portanto, comportamento antagônico aos espécimes da população de Arara, PB.

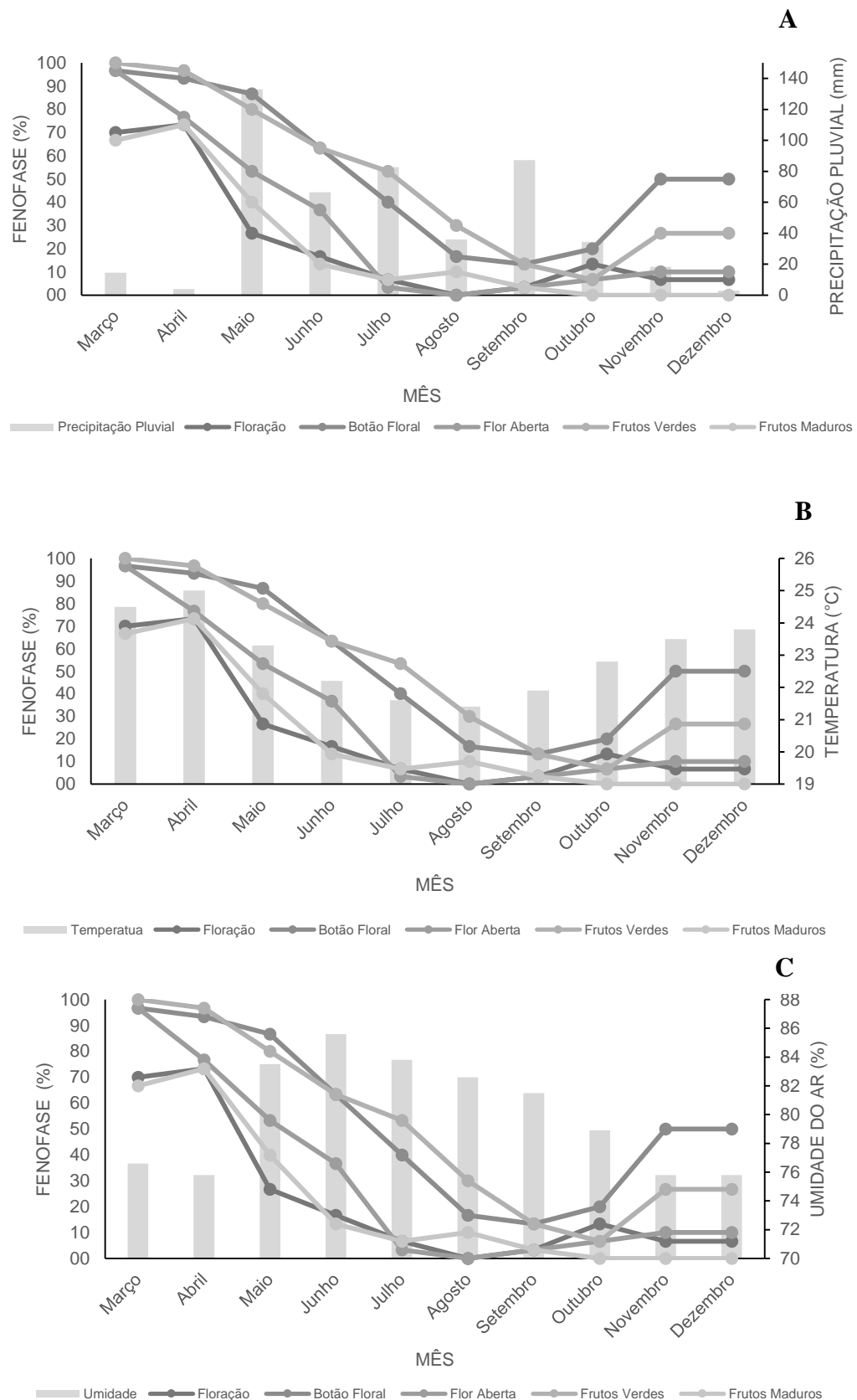
A maior parte dos trabalhos com *Cactaceae* apontam para correlação negativa entre a precipitação pluvial e a fenofase de floração (RUIZ et al., 2000; LEAL et al., 2006; QUIRINO, 2006; LIMA, 2007; LUCENA, 2007), ao que se percebe uma tendência característica para a família de ocorrência em fragmentos de caatinga.

A temperatura constituiu num dos elementos climáticos com maior influência também na população, com efeito significativo na fenofase de floração ( $r_s = 0,79$ ;  $P < 0,01$ ), botões floreados ( $r_s = 0,83$ ,  $P < 0,01$ ) e abertura floral ( $r_s = 0,90$ ,  $P < 0,01$ ) (Tabela 2). No entanto, a umidade do ar apresenta correlação negativa com a maior parte fenofases estudadas, exceto para fenofase de frutificação (Tabela 2).

Esses resultados são semelhantes aos obtidos em estudos com outras *Cactaceae* realizados no Brasil (LEAL et al., 2006; QUIRINO, 2006; LIMA, 2007; LUCENA, 2007).

**Tabela 2.** Correlação de Spearman ( $r_s$ ) com suas respectivas probabilidades ( $p$ ) entre temperatura, precipitação, umidade e as reprodutivas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Areial, PB

	Fenofase				
	Floração	Botão floral	Flor aberta	Fruto verdes	Fruto maduros
Precipitação	$r_s = -0,25$	-0,36	-0,35	-0,08	0,06
	$p = 0,48$	0,30	0,307	0,81	0,85
Temperatura	<b><math>r_s = 0,79</math></b>	<b>0,86</b>	<b>0,90</b>	0,55	0,41
	<b><math>p = 0,006</math></b>	<b>0,001</b>	<b>&lt;0,001</b>	0,090	0,231
Umidade	$r_s = -0,11$	-0,19	-0,26	0,12	0,22
	$p = 0,74$	0,59	0,46	0,72	0,53



**Figura 5.** Comportamento das fenofases reprodutivas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Areial, PB. (a) Temperatura, (b) precipitação e (c) umidade relativa do ar

### 4.3 Fenofases Reprodutivas da População de Boa Vista, PB

A população de Boa Vista apresentou floração durante todo o ano, sendo que os picos de floração ocorreram nos meses de abril (46,7%), fevereiro (46,7%) e março (43,3%), sendo esta fenofase menos intensa nos meses de setembro (6,7%), outubro (6,7%), junho (3,3%) e agosto (3,3%).

Os botões florais foram observados ao longo do período de avaliação, onde em março a população apresentou-se sincrônica para esta fenofase, onde todos os indivíduos a expressaram (100%). Fevereiro (83,3%), janeiro (76,7%), abril (63,3%) e dezembro (63,3%) foram os meses com maior intensidade, no entanto setembro (16,7%) e maio (10%) foram tidos com meses intensidade baixa.

Com exceção do mês de junho, a presença de espécimes com flor aberta foi constatada ao longo do período de estudo, sendo os meses de março (83,3%), abril (46,7%) e dezembro (40%) caracterizando o período de maior intensidade desta fenofase, todavia nos meses de outubro (6,7%) e agosto (3,3%) foram observados reduzidos espécimes apresentando antese.

A intensidade de frutos imaturos ocorre ao longo de todo ano, onde em março esta fenofase apresenta intensidade máxima (96,7%), seguido de abril (80%) e fevereiro (73,3%); Março (83,3%) e abril (43%) foram os meses de maior oferta de frutos em estágio de maturação completa, contudo a espécie apresentou frutificação imatura ao longo de todo ano, a ocorrência desses frutos em estágio maduro não foi observada em outubro.

Nos meses de outubro (20%), maio (10%) e setembro (10%) são caracterizados pelo baixo aporte de frutos imaturos na população e em junho (6,7%), julho (6,7%), janeiro (6,7%), agosto (3,3%) e setembro (3,3%) com redução da intensidade na fenofase de maturação plena.

De modo geral os padrões fenológicos da população de Boa Vista acompanham os eventos pluviiais, térmicos e em menor escala umídicos (Figura 6a, b e c). Numa análise mais curada a fenologia desses indivíduos correlacionou-se negativamente para com a precipitação pluvial, a exceção da fenofase de frutificação madura (Tabela 3), observado pelo efeito antagônico da precipitação nos espécimes dessa população. Assim como as populações que se sucederam a temperatura constitui num dos elementos climáticos com maior influência também para essa população, com correlação positiva para todas as fenofases com relação significativa nas fenofases de botões florais ( $r_s = 0,69$ ;  $p < 0,01$ ) e na fase de aparecimento de frutos maduros ( $r_s = 0,54$ ;  $p = 0,05$ ) (Tabela 3). Contudo, diferentemente das outras populações a umidade do ar apresentou correlação positiva com todas as fenofases reprodutivas estudadas (Tabela 3).

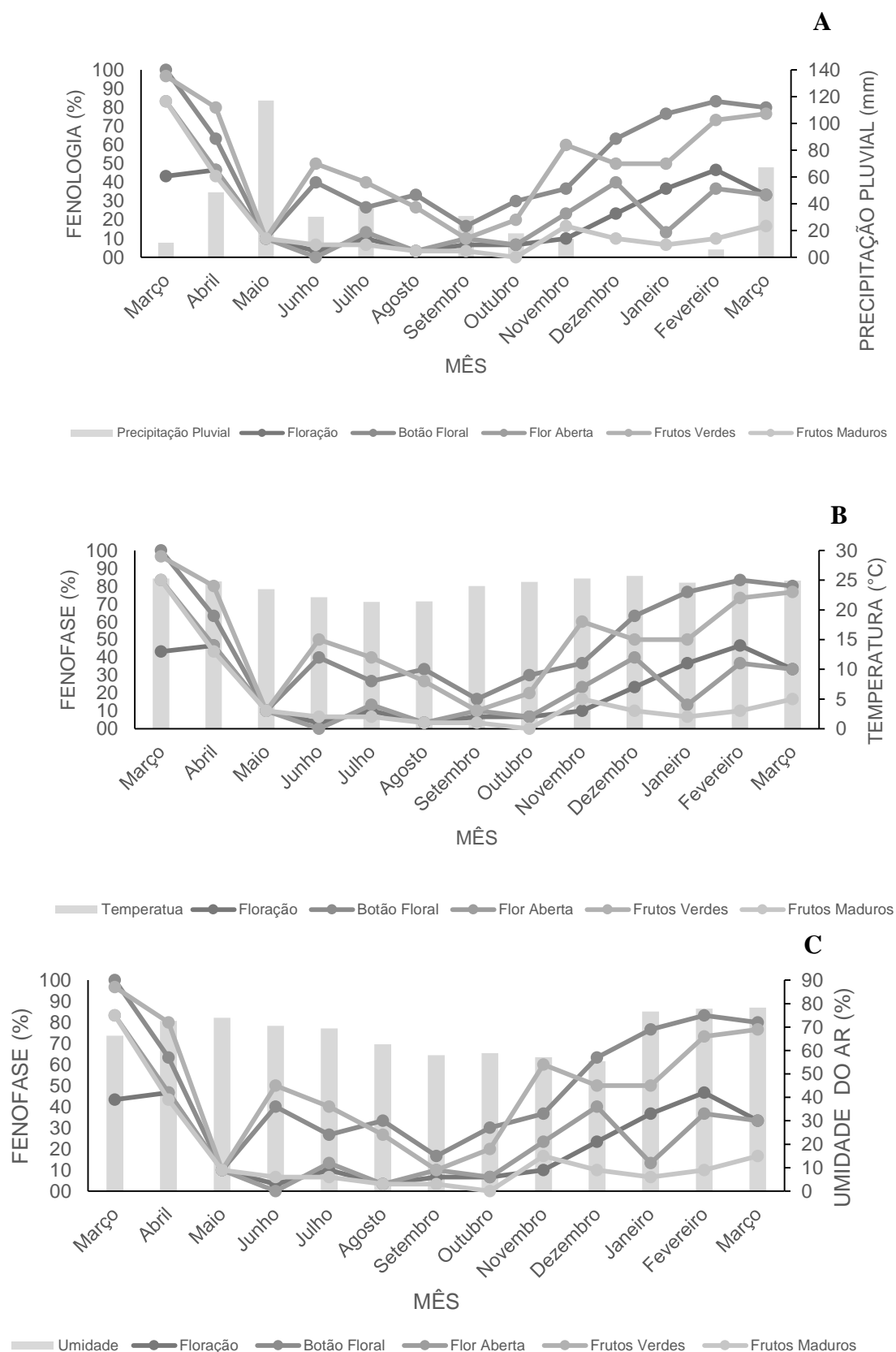
**Tabela 3.** Correlação de Spearman ( $r_s$ ) com suas respectivas probabilidades ( $p$ ) entre temperatura, precipitação, umidade e as reprodutivas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Boa Vista, PB

	Fenofase				
	Floração	Botão floral	Flor aberta	Fruto verde	Fruto maduro
Precipitação	$r_s = -0,030$	-0,390	-0,065	-0,100	0,198
	$p = 0,92$	0,18	0,82	0,74	0,51
Temperatura	$r_s = 0,501$	0,503	0,690	0,490	0,540
	$p = 0,08$	0,07	<b>0,008</b>	0,08	<b>0,05</b>
Umidade	$r_s = 0,49$	0,37	0,10	0,30	0,25
	$p = 0,1$	0,207	0,729	0,304	0,405

Os padrões fenológicos reprodutivos encontrados nas três populações de *P. pachycladus* estudadas sugerem divergências e adaptações às condições abióticas e/ou bióticas das áreas de caatinga do Agreste da Paraíba. Neste sentido, padrões diferenciados de floração em espécies de *Cactaceae* simpátricas foram observados por na Venezuela por Petit (2001), quatro na Colômbia (Ruiz et al., 2000), duas espécies irmãs do gênero *Ferocactus* no Arizona (MCINTOSH, 2002) e cinco espécies simpátricas na caatinga paraibana (QUIRINO, 2006).

A sobreposição da floração em espécies de *Pilosocereus* pode indicar um padrão para o gênero, como também os fatores bióticos podem influenciar na estratégia de floração apresentada pela espécie (QUIRINO, 2006), uma vez que parte das *Cactaceae* compartilham os mesmos polinizadores. O padrão de floração sincronizada em algumas espécies pode favorecer a polinização com o aumento de recursos e por conseguinte atração do maior número de polinizadores (SAKAI et al., 1999). O padrão de floração pode ser direcionado através de fatores genéticos, no entanto a frequência desta aparentemente está correlacionada com fatores ecológicos. A filogenia atua significativamente na frequência da floração, contudo não na sua duração (BAWA et al., 2003). A influência do componente filogenético é dependente da relação com caracteres ecológicos e nesse contexto podem atuar de maneira conjunta sobre as entidades biológicas.





**Figura 6.** Comportamento das fenofases reprodutivas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi numa caatinga do município de Boa Vista, PB. (a) Temperatura, (b) precipitação e (c) umidade relativa do ar - 2014-2015

O padrão fenológico entre a floração e a frutificação para as três populações estudadas são apresentadas na figura 5a, b e c. A sobreposição da floração contínua, majoritariamente, foi observada para todas as populações, no entanto em Boa Vista, foi bem maior. Ao que parece, há maior predação das estruturas florais e ou abortamento destas, caracterizada pela redução número de diferenciação destas estruturas em órgãos frutíferos (Figura 7c).

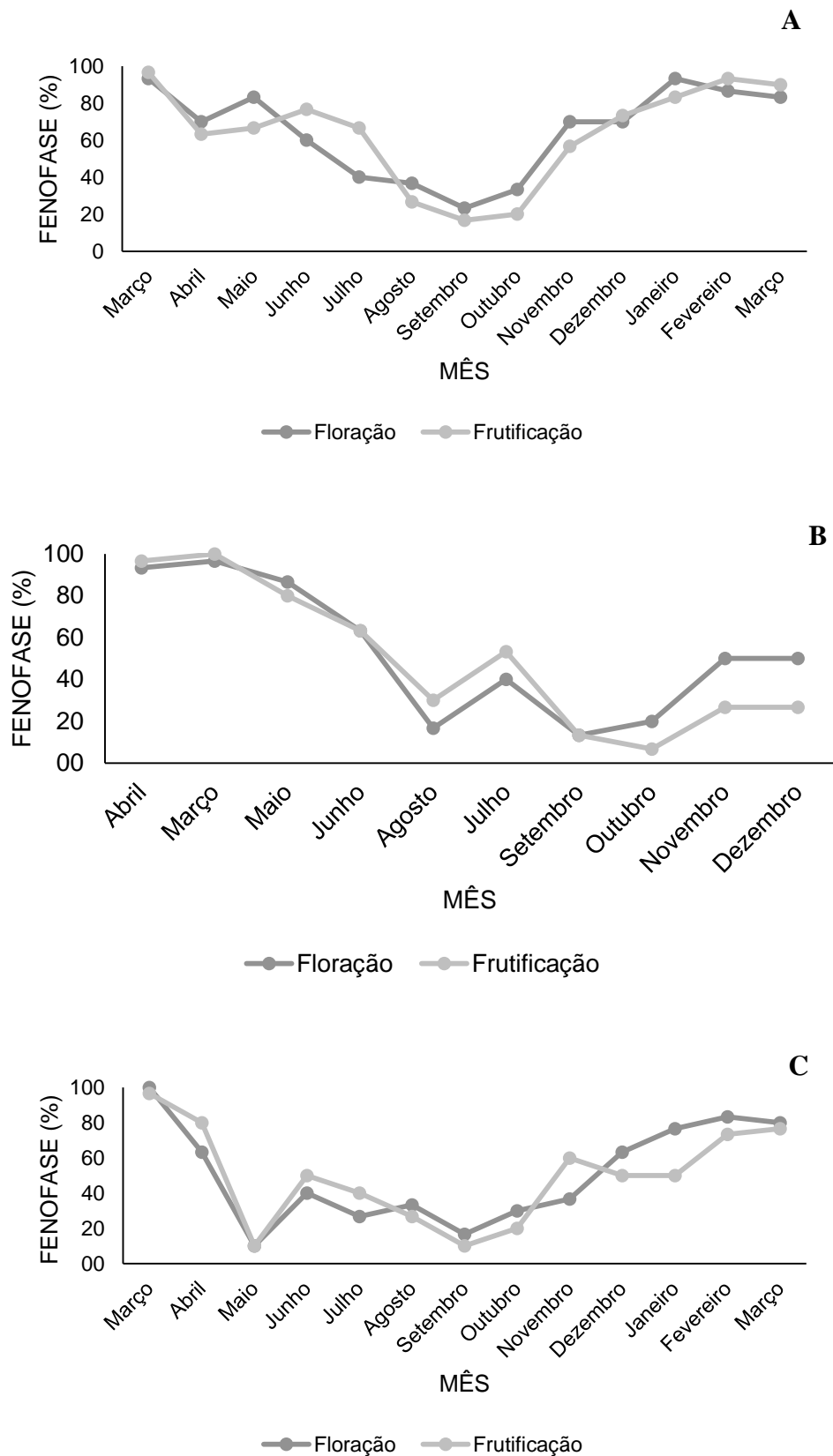
De acordo com Quirino (2006) a floração contínua e a assincrônica distinta do padrão de frutificação, pode estar relacionada à manutenção de polinizadores, proporcionando disponibilidade de recursos ao longo do ano.

A disponibilização de frutos maduros por vários meses apresenta-se como uma estratégia expressa pelas *Cactaceae*, podendo relacionar-se com a manutenção de recursos para dispersores, e segundo Schaik et al. (1999), esse padrão fenológico pode configurar-se num atrativo para morcegos frugívoros.

O período de frutificação nas *Cactaceae*, onde ocorre em sua maior parte na estação seca, apresenta-se como recurso alimentar com importância dentro das comunidades de caatinga, uma vez que a maioria das espécies zoocóricas apresenta essa fenofase no período úmido (QUIRINO, 2006).

Para diversos autores alguns autores (WILLIAMS-LINERA e MEAVE, 2002; LIMA, 2007; LUCENA, 2007), normalmente a floração de muitas espécies ocorre durante a estação seca ou no início da chuvosa, como estratégia para maturação dos frutos e dispersão de suas sementes ocorram durante o período úmido, facilitando-se assim o estabelecimento e o recrutamento de novos espécimes dentro da população, tendência semelhante observada nas populações de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* nos ambientes estudados, numa primeira análise.

De acordo com Lucena (2007) os padrões de floração e a alternância específica das *Cactaceae* torna-se fundamental para a manutenção espécies nectarívoras de morcegos como *Glossophaga soricina* e *Lonchophylla mordax* em áreas de Caatinga.



**Figura 7.** Porcentagem de espécimes de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em fenofase de floração e frutificação em áreas de caatinga do Agreste do estado da Paraíba. (a) Arara, (b) Areial (c) Boa Vista, PB - 2014-2015

## 5 CONCLUSÕES

A floração de *Pilosocereus cattingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nas áreas de caatinga de Arara, Areial e Boa Vista se dá nos meses de fevereiro à março e a produção de frutos maduros em março. A floração possui correlação positiva com a temperatura do ambiente. Para esta espécie, não se constata correlação significativa entre as fenofases reprodutivas e a precipitação pluvial e umidade relativa do ar.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON, E. F. **The cactus family**. Timbre Press. Portland, Oregon, 2001. 777 p.

ARECES, A. Cactaceae. In: SMITH, N. **Flowering plants of the neotropics**. The New York Botanical Garden, Princeton University Press, 2004. p. 73 - 76.

AYRES, M.; AYRES, J. R. M.; AYRES, D.L. & SANTOS, A. A. S. **BioEstat 5.0: aplicações estatísticas nas áreas das ciências biomédicas**. Sociedade Civil Mamirauá, Belém. 2007.

BARBOSA, A. S. **Estrutura da vegetação e distribuição espacial de *Cactaceae* em áreas de caatinga do semiárido paraibano** 2011. 166f. (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2011.

BARTHLOTT, W.; HUNT, D. R. **Cactaceae**. Pages 161-196 in The Families and Genera of Vascular Plants. v. 2. K. Kubitzki (ed.). Berlin, Springer-Verlag. 1993.

BAWA, K. S., H. KAMG, e M. H. GRAYUM. 2003. Relationships among time, frequency, and duration of flowering in tropical rain Forest trees. **American Journal of Botany**, 90: 877-887.

BENCKE, C. S.C.; MORELLATO, L. P. C. Comparação de dois métodos de avaliação da fenologia de plantas, sua interpretação e representação. **Revista Brasileira de Botânica** 25(3): 237-248. 2002.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Arara, estado da Paraíba**. João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM. 2005a. p. 20.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Areial, estado da Paraíba.** João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM. 2005b. p. 19.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Boa Vista, estado da Paraíba.** João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM. 2005c. p.11.

HAMID, E.; NAKASHIZUKA, T. 1999. Plant reproductive phenology over four years including an episode of general flowering in a lowland dipterocarp forest, Sarawak, Malaysia. **American Journal of Botany**. 86:1414-1436.

HERSHKOVITZ, M. A., AND E. A. ZIMMER. On the evolutionary origins of the cacti. **Taxon**, v.46, p.217-232, 1997.

LEAL, F. C.; LOPES, A.V., MACHADO, I.C. Polinização por beija-flores em uma área de caatinga no Município de Floresta, Pernambuco, Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Botânica** 29, 379-389. 2006.

LIMA, A.L.A. **Padrões fenológicos de espécies lenhosas e Cactáceas em uma área do semi-árido do Nordeste do Brasil.** Dissertação de Mestrado. Universidade Federal Rural de Pernambuco. 71p. 2007.

LIMA, J. L. S. **Plantas forrageiras da caatinga - uso e potencialidades.** Petrolina-PE: Embrapa-CPATSA/PNE/RBG-KEW, 1996. 78p.

LOCATELLI, E.; MACHADO, I. C. S. Comparative study of the floral biology in two ornithophilous species of Cactaceae: *Melocactus zehntneri* and *Opuntia palmadora*. **Bradleya** 17, 75-85. 1999b.

LOCATELLI, E.; MACHADO, I. C. S.; MEDEIROS, P. Floral biology and pollination in *Pilosocereus catingicola* (Cactaceae) in Northeastern Brazil. **Bradleya** 15, 28-34. 1997.

LOCATELLI, E.; MACHADO, I.C.S. Floral biology of *Cereus fernambucensis*: a sphingophilous cactus of the restinga. **Bradleya** 17, 86-94. 1999a.

LUCENA, E. A. R. M. **Fenologia, biologia da polinização e da reprodução de *Pilosocereus Byles & Rowley* (Cactaceae) no Nordeste do Brasil**. 185 f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2007.

MCINTOSH, M.E. 2002 Flowering phenology and reproductive output in two sister species of *Ferocactus* (Cactaceae). **Plant Ecology** 159(1): 1-13.

MORELLATO, L. P. C.; LEITÃO-FILHO, H. F.; RODRIGUES, R. R.; JOLY, C. A. Estratégias fenológicas de espécies arbóreas em floresta de altitude na Serra do Japi, Jundiaí São Paulo. **Revista Brasileira de Biologia**. n. 50: 149-162. 1990.

NEWSTROM, L. E.; FRANKIE, G. W.; BAKER, H. G. A new classification for plant phenology based on flowering patterns in lowland tropical rain forest trees at La Selva, Costa Rica. **Biotropica** 26(2): 141-159. 1994.

NOVOA, S.; CERONI, A.; ARELLANO, C. 2005. Contribución al conocimiento de la fenología del cactus *Neoraimondia arequipensis* subsp. *roseifolia* (Werdermann & Backeberg) Ostolaza (Cactaceae) en el valle do rio Chíllon, Lima, Perú. **Ecología Aplicada** 4(1,2): 35- 40.

NYFFELER, R. Phylogenetic relationships in the cactus family (Cactaceae) based on evidence from *trnK/matK* and *trnF* sequences. **American Journal of Botany**, n. 89, p. 312-326, 2002.

PEREIRA, J. L. **Estrutura demográfica e fenologia reprodutiva de *Cereus hildmannianus* K. Schum. (Cactaceae), em uma restinga arbustiva do município de Jaguaruna, Santa**

**Catarina.** 61 F. 2009. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2009.

PORTO, P. A. F.; ALMEIDA, A.; PESSOA, W. J.; TROVÃO, D.; FELIX, L.P. Composição florística de um inselbergue no Agreste Paraibano, município de Esperança, nordeste do Brasil. **Revista Caatinga.** Mossoró, Brasil, v.21, n.2, p.214, 2008.

QUIRINO, Z. G. M. **Fenologia, síndromes de polinização e dispersão e recursos Florais de uma comunidade de caatinga no cariri paraibano.** 128 f. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2006.

RODAL, M. J. N.; SAMPAIO, E. V. S. B. **A vegetação do bioma caatinga.** Pp. 11-24. In: Sampaio, E. V. S. B. et al. (Eds.), *Vegetação e Flora da Caatinga*. Recife: Associação Plantas do Nordeste; Centro Nordestino de Informações sobre Plantas, 2002.

RUIZ, A., SANTOS, M., CAVELLIER, J. Estudio fenológico de cactáceas en el enclave seco de la Tatacoa, Colombia. *Biotropica* 32, 397-407. 2000.

SAKAI, S., K. MOMOSE, T. YUMOTO, T. NAGAMITSU, H. NAGAMASU, A. A. SANTOS, M. R. **Influência de variáveis ambientais e espaciais na distribuição geográfica da família Cactaceae no Leste do Brasil.** 2009. 76 f. (Dissertação de Mestrado/Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aplicada), Universidade Federal de Lavras. Lavras, 2009.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira.** Nova Odessa, SP.: Instituto Plantarum, 2005. 639 p.

TAYLOR, N.P.; ZAPPI, D.C. **Cacti of Eastern Brazil.** Royal Botanic Gardens. Kew. 499p. 2004.

TROPICOS®. **Missouri Botanical Garden** (Disponível em: <<http://www.tropicos.org/>>) Saint Louis - Missouri, EUA.



WILLIAMS-LINERA, G., MEAVE, J. **Patrones fenológicos**. Pp. 407-431. In: M.R. Guarita & G.H. Kattan (Eds.). *Ecología y conservación de bosques neotropicales*. Costa Rica: Libro Universitario Regional. 2002.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N. Diversidade e endemismo das cactaceae na cadeia do Espinhaço. **Rev. Megadiversidade**, v. 4 n°1-2, 2008.

ZAR, J.H. 1999. **Biostatistical analysis**. Upper Saddle River, Prentice Hall.

## **CAPÍTULO VI:**

### **PROSPECÇÃO FITOQUÍMICA E PERFIL DE CROMOALCALOIDES BETALAÍNICOS DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)**

## CAPÍTULO VI:

### PROSPECÇÃO FITOQUÍMICA E PERFIL DE CROMOALCALOIDES BETALAÍNICOS DE *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

#### RESUMO

As cactáceas são importantes recursos fitogenéticos do semiárido brasileiro, com potencial para extração de compostos bioativos como flavonoides e alcaloides. Nesta perspectiva, o objetivo do trabalho foi quantificar e caracterizar o perfil de constituintes químicos de partes morfológicas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi de ocorrência em áreas de caatinga do Agreste da Paraíba. Foram coletadas partes morfológicas de raiz, caule e fruto nas áreas de Arara, Areial e Boa Vista, PB. Foram realizados ensaios de caracterização físico-química dos frutos, triagem fitoquímica, extração, quantificação e caracterização de betalaínas. Os frutos foram liofilizados em Liofilizador LF 3000 Terroni®. As amostras posteriormente foram trituradas e uma alíquota de dois gramas foi solubilizada em uma solução metanólica a 50% com ascorbato de sódio e água destilada. Foi realizada a precipitação dos hidrocolóides e em seguida filtragem em membrana Phenomenex®. A quantificação dos compostos antioxidantes foi realizada em espectrofotômetro de absorção Mertek® SP-870 (600 nm). A separação dos compostos foi alcançada por meio de cromatografia líquida de alta eficiência (RP-HPLC, sistema Agilent® 1200) acoplado a um espectro de massa (MS) Agilent® 6520 QTOF MS com um pulverizador duplo de íons (ESI), com coluna termostatizada (C18 Luna) e compartimento com detector de fotodiodo. Os frutos apresentaram os maiores pesos e menores rendimentos de polpa nos estádios de maturação V com casca predominantemente vermelho (maduro) e VI com casca vermelho escuro. Os valores de firmeza reduziram com a maturação e elevação dos teores de sólidos solúveis. O estágio de maturação V caracteriza-se como ideal para a colheita dos frutos de facheiro pela característica física de peso e físico-química quanto aos teores de sólidos solúveis e acidez titulável. As partes morfológicas de raiz e caule de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* apresentaram presença de esteroides, flavonoides e saponinas e o fruto cromoalcaloides betalaínicos. Para extração de betalaínas recomenda-se 55 g de fruto seco liofilizado por 95 min. e armazenamento da solução extrativa a -20°C por no máximo de 48h. As betacianinas são os constituintes químicos de maior expressão representadas pela betanina e filocactina. A população de Arara produz maior quantidade de betaxantinas e distingue-se de Areial e Boa Vista. Os espécimes expressam mais betacianinas do que betaxantinas. Ao que parece, esses constituintes químicos são semelhantes dentre os espécimes, contudo variáveis quantitativamente ao longo dos ambientes, possivelmente como consequência da variabilidade hídrica e da hidrorregulação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Betalaínas, facheiro, semiárido.

## CHAPTER VI:

### PHYTOCHEMICAL PROSPECTION AND BETALAINIC CHROMOALKALOIDS PROFILE OF *Pilosocereus catingicola* (GÜRKE) BYLES & ROWLEY SUBSP. *salvadorensis* (WERDERM.) ZAPPI (CACTACEAE)

#### ABSTRACT

The cacti are important plant genetic resources of the Brazilian semiarid, with potential for the extraction of bioactive compounds such as flavonoids and alkaloids. In this sense, the objective was to separate, quantify and characterize the chemical constituents of morphological parts of *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi with occurrence in areas of *caatinga* in the Westland of Paraíba. We collected morphological parts of root, stem and fruit in the Arara, Areial and Boa Vista, PB. Physico-chemical characterization tests were made of fruit, phytochemical screening, extraction, quantification and qualification betalains. Fruits were freeze-dried Freeze LF 3000 Terroni®. The samples were then crushed and a rate of two grams was solubilized in a methanolic solution with sodium ascorbate in distilled water. The precipitation of the hydrocolloid was performed followed by filtering in Phenomenex® membrane. The quantification of antioxidant compounds was performed in absorption spectrophotometer Merck® SP-870 (600 nm). The separation of the compounds was carried out by high performance liquid chromatography (RP-HPLC Agilent® 1200 system) coupled to a mass spectrum (MS) Agilent® 6520 by double QTOF MS ion spray (ESI) with a thermostated column (C18 Luna) and photodiode array detector. The fruits showed higher weights and lower pulp yields in V with predominantly red bark (mature) and VI with dark red bark maturation stages. The firmness values decreased with the maturation and increase in soluble solids. The maturity stage V was characterized as ideal for harvest of *facheiro* fruit according by physical characteristic weight and physical chemistry as the soluble solids and titratable acidity. The morphological parts of root and stem of *P. catingicola* subsp. *Salvadorensis* showed presence of steroids, flavonoids and saponins and betalainic chromoalkaloids in the fruit. To the betalains extraction is recommended 55 g of freeze-dried nut for 95 min. and the crude extract storage at -20 °C for a maximum of 48 hours. The betacyanins are the alkaloids group with the highest expression in the fruit represented by betanin and phylocactin. The population of Arara yields more betaxantinas and distinguished from Areial and Boa Vista. The specimens express more betacyanins than betaxantinas. Apparently, these constituents are similar among the specimens, however variable along the environments as consequence the hydric variability and hydoregulation.

**KEYWORDS:** Betalains, *facheiro*, semiarid.

## 1 INTRODUÇÃO

O Metaphyta constitui com um dos reinos mais ecléticos da natureza, especialmente pela sua importância nas cadeias e teias alimentares, não obstante a função nutritiva - fonte de carboidratos, proteínas e óleos, produzem uma gama de produtos naturais ainda desconhecida pela humanidade. Os produtos de seu metabolismo secundário têm um amplo uso pela civilização humana desde seus primórdios e, mais recentemente no século XX, as técnicas para estudo destes metabólitos aperfeiçoaram-se e desde então diversos grupos químicos com funções antioxidantes puderam ser caracterizados e hoje com utilização ampla pela indústria farmacêutica sob a forma de medicamentos e suplementos alimentares.

As Cactaceae são originárias do continente americano, possivelmente surgiram há 30 milhões de anos em meados do período terciário (HERSHKOVITZ e ZIMMER, 1997), constituem uma família diversificada de plantas onde podem ser encontrados espécimes de porte arbóreo (*Pereskia sacharosa*) e rasteiro (*Ariocarpus retusus* subsp. *retusus*). As estratégias adaptativas vão desde às características anatômicas até ajustes fisiológicos, sendo sua ocorrência reportada à região tropical do continente americano, com exceção de *Rhipsalis bacifera*. Seus espécimes ocupam vastas áreas nas fitofisionomias do semiárido nordestino do Brasil, uma vez que é o centro de diversidade da tribo *Cereeae* (ANDERSON, 2001).

Alguns metabólitos expressos pelos representantes do reino Metaphyta são alvos de estudos pela farmacologia devido aos seus efeitos benéficos em organismos vivos por expressarem dentre outras dezenas de funções, efeito antioxidante, evitando assim o estresse oxidativo causado pelo metabolismo celular, sobretudo por peroxidades e espécies reativas de oxigênio (ROS). Na ordem das *Caryophyllales* dois compostos merecem atenção dada as suas aplicações farmacêuticas - as antocianinas e as betalaínas, sendo as últimas de ocorrência em apenas dez família desta ordem (Centrospermae) (CHAUHAN et al., 2013).

Segundo Gandía-herrero e García-carmona (2013), as betalaínas constituem um grupo de produtos secundários vegetais pertencente aos alcalóides com origem na rota do ácido chiquímico. A literatura aponta suas funções de preservar a integridade das células por meio de evitar os processos oxidativos pela ação dos radicais livres e por conseguinte a apoptose. A maior parte das betalaínas reportadas ocorrem em flores e frutos, podendo ser encontradas em raízes e folhas de plantas pertencentes à ordem das cariofiláceas em substituição às antocianinas (GANDÍA-HERRERO e GARCÍA-CARMONA, 2013).

As betalaínas caracterizam-se pela coloração roxa à violácea ou amarelo alaranjada resultante das cadeias ligadas ao ácido betalâmico, precursor deste metabólito, sendo divididas em dois subgrupos: As betaxantinas caracterizadas pela coloração amarelada e alaranjada, em que incluem-se vulgaxantina, miraxantina, portulaxantina e indicaxantina; e as betacianinas de coloração avermelhada e roxa e podem ser encontradas nos vegetais sob a forma de betanina, isobetanina, protobetaina e neobetanina (STRACK et al., 2003).

Diversos trabalhos com cactáceas cultivadas, Stintzing et al. (2002), Wybraniec et al. (2007); Castellanos-Santiago et al. (2008); Jerz et al. (2008); Wybranec et al. (2009); Gandía-herrero e García-carmona (2013), qualificam os frutos de palma (*Opuntia ficus-indica*) como fonte promissora de compostos antioxidantes, especialmente as betalaínas. Anderson (2001) reportou a presença de pigmentos naturais nitrogenados, que englobam as betacianinas (coloração violácea) e as betaxantinas (alaranjada). Em *Lophophora williamsii*, foram encontrados mais de 50 diferentes tipos de alcaloides com fenetilaminas, triterpenos e esteróis, com vários anéis de carbono e grupos álcoois (ANDERSON, 2001).

Estudos, anteriormente mencionados, foram empreendidos no intuito de descrever a biossíntese, extração, isolamento, quantificação e caracterização das betalaínas, bem como de demonstrar a diversidade de alcaloides em cada grupo de plantas e especialmente em cactáceas do gênero *Opuntia*. Todavia, prospecções com cactáceas nativas são incipientes e praticamente inexistentes quando se reportam especialmente às de ocorrência no Agreste da Paraíba, representadas pelos gêneros *Cereus*, *Pilosocereus*, *Harrisia*, *Melocactus* e *Tacinga* (BARBOSA, 2011). Esses espécimes possuem ampla distribuição nos ecossistemas locais, e carecem de investigações no intuito de prover informações sobre os seus possíveis usos e aplicações, uma vez que são plantas altamente adaptadas ao semiárido e dentro de um programa de uso e conservação podem configurar-se como uma importante fonte de compostos funcionais.

O objetivo do trabalho foi separar, quantificar e caracterizar os constituintes químicos de partes morfológicas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi de ocorrência em áreas da caatinga no Agreste do estado da Paraíba.

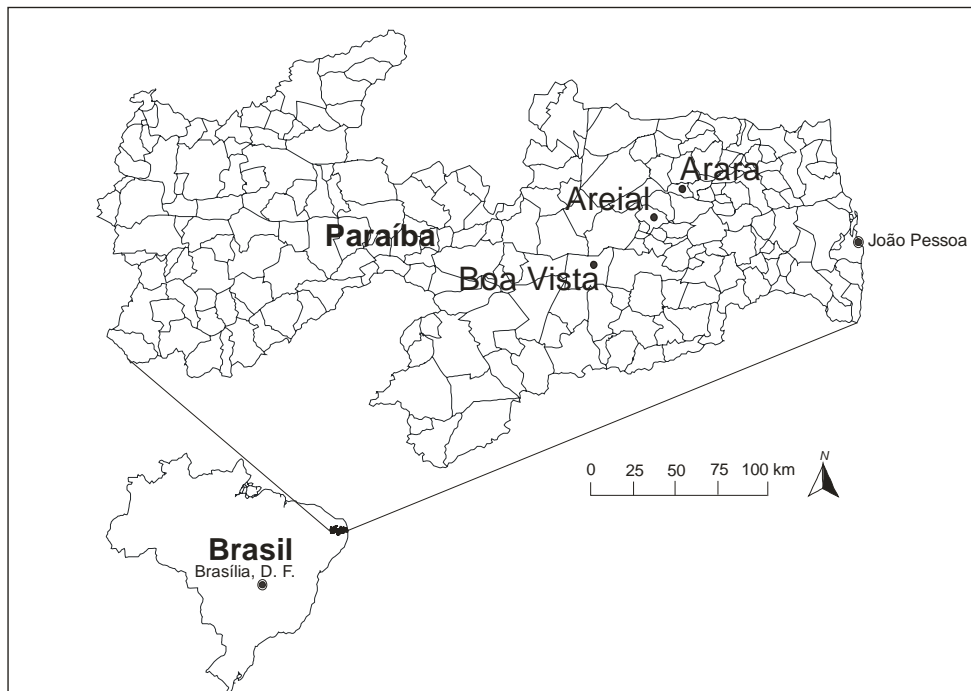
## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Áreas de Prospecção

As expedições foram realizadas em três fragmentos florestais de caatinga, localizados nos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, pertencentes a mesorregião Agreste Paraibano, (Figura 1). As três áreas serão escolhidas tendo por critério o elevado número de espécimes de *Pilosocereus* spp. reportado por Barbosa (2011).



**Figura 1.** Populações de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi alvo de prospecção, caatingas dos municípios de Arara, Areial e Boa Vista, PB (respectivamente) mesorregião do Agreste do estado da Paraíba



**Figura 2.** Representação geográfica das áreas de prospecção em Populações de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nos diferentes municípios do Agreste do estado da Paraíba, Brasil

A caatinga do município de Arara, PB apresenta altitude aproximada de 467 metros, inserido na unidade geoambiental do Planalto da Borborema, com espécies subcaducifólica e caducifólica, tipicamente dos agrestes da Paraíba, clima do tropical chuvoso e verão seco, precipitação pluvial média anual de 666.13 mm (CPRM, 2005a) e apresentação de NEOSSOLOS na maior parte da área. Esse fragmento apresenta-se com características sucessionais em nível intermediário e com presença de corte seletivo de madeira, pastejo do gado bovino durante a estação seca.

A caatinga de Areial apresenta-se como formações de florestais subcaducifólica e caducifólica, clima tropical chuvoso e verão quente e seco com chuvas de janeiro a outubro, sendo a precipitação pluvial média anual de 679,7 mm. Os solos são ligeiramente ondulados com presença de PLANOSSOLOS, fortemente drenados, moderadamente ácidos e fertilidade natural média a alta (CPRM, 2005b). A caatinga de Areial apresenta-se como uma das mais antropizadas, em virtude da fragmentação da caatinga remanescente e formação de “ilhas” de vegetação. Em boa parte da área observa-se aberturas para o cultivo de culturas anuais, bem como a utilização dos recursos vegetais para o pastejo dos rebanhos bovino, asininos e muars.

A caatinga de Boa Vista apresenta fertilidade do solo de média a alta, coberto por formações vegetais hiperxerófila, clima tropical chuvoso e verão quente e seco. A precipitação pluvial média anual é de 443,93 mm, caracterizando como a caatinga mais xérica dentre as áreas a serem trabalhadas. A superfície dos solos é suavemente ondulada com formação de PLANOSSOLOS medianamente profundos com fertilidade média, fortemente drenados e acidez moderada. Há presença de Podzólicos profundos de textura argilosa com fertilidade natural média (CPRM, 2005c). Essa caatinga foi considerada como a mais conservada entre as áreas do estudo de prospecção, no entanto recentemente foi verificado a entrada do rebanho caprino para o pastejo controlado durante a estação seca.

## **2.2 Autorização para a Acesso ao Patrimônio Genético Autóctone**

Por se tratar de uso do patrimônio genético autóctone, fez-se necessário a autorização (Anexo 1) para o início do trabalho como remenda a Medida Provisória nº 2.186-16/2001, onde conceitua acesso ao patrimônio genético como “obtenção de amostra de componente do patrimônio genético para fins de pesquisa científica, desenvolvimento tecnológico ou



bioprospecção, visando a sua aplicação industrial ou de outra natureza”. Portanto, foi realizada consulta ao portal do IBAMA, disponível em: <<http://www.ibama.gov.br/>>, e de posse das informações necessárias foi iniciado o processo à Unidade da Paraíba com sede na capital João Pessoa, PB, em nome do interessado (Pessoa física) com aval da pessoa jurídica, a Universidade Federal da Paraíba, UFPB.

### **2.3 Identificação do Material Vegetal**

Para a identificação do material foram coletados partes morfológicas dos espécimes das populações com presença aparente de descritores. O material foi acondicionado em estufa por 48 horas, em seguida preparadas as exsicatas e enviadas para Centro de Ciências Agrárias (UFPB/CCA) “Herbário Jayme Coelho de Moraes” (EAN), para comparação com material que faz parte da coleção do herbário, como também, foram feitas comparações com materiais por meio de literatura especializada. A sinonímia e a grafia do táxon foi confirmada mediante consulta ao índice de espécies do banco de dados Tropicos<sup>®</sup> do *Missouri Botanical Garden* (Disponível em: <<http://www.tropicos.org/>>) (Saint Louis, Missouri, EUA).

### **2.4 Caracterização Física, Físico-Química e Secagem dos Frutos**

A caracterização física e físico-química dos frutos foi realizada no Laboratório de Fisiologia Pós-Colheita do Centro de Ciências Humanas, Sociais e Agrárias (CCHSA), da Universidade Federal da Paraíba, Campus III. Os frutos foram colhidos em seis estádios de maturação aparentes: I-fruto com casca verde; II-fruto verde (início da transição); III-fruto com casca verde amarelado; IV-fruto com casca verde avermelhado; V-fruto com casca predominantemente vermelho (maduro) e VI-fruto com casca vermelho escuro.

A caracterização física foi realizada quanto a massa de matéria fresca (g), firmeza da casca (N), dimensões (comprimento e diâmetro em cm), rendimento de casca (%), rendimento de polpa (%) e massa das sementes (g). As análises físico-químicas constaram das seguintes variáveis: acidez titulável (% ácido cítrico/100g de polpa), pH da fração líquida da polpa e sólidos solúveis (%). O delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado com três repetições de 10 frutos para cada estágio de maturação, para cada área em estudo. Os dados foram submetidos à análise de variância e comparação das médias pelo teste de Tukey a 5% de

probabilidade, utilizando-se o programa estatístico SAS v 9.2 (Licenciada pela Universidade Federal da Paraíba, 2013).

## **2.5 Coleta do Material e Preparo das Amostras**

As amostras foram coletadas em quatro repetições (Raiz e caule). A coleta procedeu-se de modo aleatório observando-se os pontos cardeais: Norte, Sul, Leste e Oeste em horário matutino por volta das oito horas da manhã com auxílio de facão enxada previamente limpos e higienizados. O material foi acondicionado em caixa térmica e levado para o Laboratório para secagem a 40°C por 120 horas.

Após a secagem foi realizada a moagem utilizando-se moinho de bancada CQA m120, em seguida 50g de cada amostra foi acondicionada em potes de plástico de 250 ml. Em seguida amostras (N=24) foram encaminhadas para o Laboratório de Fitoquímica - Laboratório de Tecnologia Farmacêutica da Universidade Federal da Paraíba, Campus I - João Pessoa, PB.

## **2.6 Extração e Concentração dos Metabólitos**

As extrações foram realizadas no Laboratório de Fitoquímica Prof. Dr. Raimundo Braz Filho, UFPB em João Pessoa, PB. As amostras previamente preparadas foram acondicionadas em erlenmeyer, foram adicionados aproximadamente 300 mL etanol absoluto como solvente, as amostras homogeneizadas utilizando agitação manual e em seguida foram deixadas em repouso por 24 horas, quando realizou-se a primeira extração. Após a primeira extração foi realizada a segunda com 48 horas e a terceira com 72 horas. Em cada extração o sobrenadante foi filtrado com auxílio de bico de Burkle, erlenmeyer e vácuo, o extrato etanólico obtido foi transferido para um balão volumétrico de 500 mL e depois levado para um rotavapor para concentração a uma temperatura de 40°C. Após cada extração material foi acondicionado em ampolas e desidratado em capela em temperatura ambiente.

## **2.7 Triagem fitoquímica**

Um miligrama de cada amostra (extrato bruto etanólico) foi utilizado para a identificação das principais classes de fitoquímicos, empregando os protocolos descritos por

Matos (1997) e Desoti et al. (2011). A intensidade da cor e/ou o aparecimento de um precipitado na realização das reações químicas foram interpretados como respostas aos ensaios

Os alcalóides foram detectados pelo método de precipitação, usando os reativos de *Bouchardat*, *Mayer*, *Dragendorf* e *Bertrand* ou ácido sílico-túngstico. Os esteróides foram detectados pela reação de *Liebermann-Burchard*. Os taninos pelos métodos de precipitação com sais de ferro e gelatina. Os flavonoides detectados pelas reações de *Shinoda* e *Taubouk*. As saponinas pela agitação do extrato aquoso com formação de espuma persistente (Desoti et al., 2011).

### **2.7.1 Determinação do conteúdo de flavonoides totais**

A determinação do conteúdo de flavonoides totais foi determinada nos extratos brutos etanólicos, em triplicata, pelo método descrito por Pereira et al. (2009), com modificações. Inicialmente, uma alíquota de 5 mL do extrato ( $2 \text{ mg mL}^{-1}$  em etanol) foi transferida para balões volumétricos de 10 mL, os quais foram adicionados 0,5 mL de solução etanólica de cloreto de alumínio a 2% ( $\text{m v}^{-1}$ ) e o volume completado com solução metanólica de ácido acético a 5% ( $\text{v v}^{-1}$ ), em que permaneceram por 30 minutos à temperatura ambiente, na ausência da luz. A leitura da absorbância a 425 nm foi registrada empregando-se um espectrofotômetro UV-VIS da Femto®, modelo 700 plus. Uma curva padrão com quercetina ( $1 \text{ a } 200 \text{ } \mu\text{g mL}^{-1}$ ) foi obtida nas mesmas condições. Os resultados foram expressos em mg de QE (equivalente de quercetina) por grama de massa seca ( $\text{mg QE g}^{-1} \text{ MS}$ ).

### **2.7.2 Determinação do conteúdo de antocianinas totais**

A determinação do conteúdo de antocianinas totais foi determinada nos extratos brutos etanólicos, com três repetições por amostra, pelo método descrito por Lemos (2008), com modificações. Foram homogeneizados em um erlemeyer de 50 mL revestidos com papel alumínio 0,5 g de amostra (extrato bruto) em 20 mL da solução extratora [etanol 95% em HCl  $1,5 \text{ mol L}^{-1}$  (85:15,  $\text{v.v}^{-1}$ )] e estocados por 18 horas a  $4^\circ\text{C}$ . As amostras foram coletadas e completadas com a solução extratora para balões volumétricos de 25 mL, revestidos com papel alumínio. A leitura da absorbância a 535 nm foi registrada empregando-se um espectrofotômetro UV-vis da Femto®, modelo 700 plus. Os resultados foram expressos em  $\mu\text{g}$  de (QE) (equivalente quercetina) por 100 gramas de massa seca ( $\mu\text{g QE. } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$ ).

Para quantificar as antocianinas totais, utilizou-se a seguinte fórmula:

$$\text{Antocianinas totais } (\mu\text{g de QE g}^{-1}) = A535.Fd.10/\bar{E}$$

Onde:

$A535$  = absorvância à 535nm;

$\bar{E}$  = 765 (coeficiente de extinção molar para quercetina 1%) a 535 nm;

$Fd$  = fator de diluição.

## 2.8 Modelagem de Extração e Armazenamento de Betalaínas

A modelagem de extração, armazenamento e perfil de betalaínas foi realizada no Laboratório de Fisiologia Vegetal, UNIMELB, Melbourne, VIC, Austrália.

Para testar e otimizar a extração das betalaínas foram analisados dois fatores: tempo e massa. Os valores de tempo de 20, 70 e 120 min., e de massa de 0,5, 1 e 1,5 g de frutos liofilizados, baseados em Maran et al. (2013), Sanchez-Gonzalez et al. (2013) e Barbosa et al. (2014).

O número de tratamentos (MNT) foi determinado de acordo com a expressão:  $MNT = 2k + 2^k + 1$ , onde  $k$  é um número de fatores e a razão ( $R$ ) para determinar os valores ótimos para as variáveis independentes de acordo com:  $R = \sqrt[k]{k}$ , resultando em nove tratamentos conforme a tabela abaixo.

**Tabela 1.** Variáveis independentes codificadas e em valores absolutos do experimento para otimização da extração de betalaínas de frutos de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi

Tratamento	Tempo	Massa	Tempo (min.)	Massa (g)
1	-1	-1	34,6	0,65
2	1	-1	105,4	0,65
3	-1	1	34,6	1,35
4	1	1	105,4	1,35
5	- $\alpha$	0	20	1
6	$\alpha$	0	120	1
7	0	- $\alpha$	70	0,50
8	0	$\alpha$	70	1,50
9	0	0	70	1

Para as extrações aquosas foram utilizados 14 mL de MeOH a 50% e 50 mmol L<sup>-1</sup> de ascorbato de sódio. A absorvância foi observada em espectrofotômetro UV-VIS Mertek® SP-870 (600 nm) (Sanford, North Carolina, EUA) e do conteúdo betalaínas (BC) [mg 100g<sup>-1</sup> = [(A\*F\*MW\*100/ $\epsilon$ \*I)] A = Absorvância; F = fator de diluição; MW = massa molar (indicaxantina = 308 g mol<sup>-1</sup> e betanina = 550 g mol<sup>-1</sup>),  $\epsilon$  = coeficiente molar. Coeficiente de absorvidade molar (indicaxantina = 48.000 L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup> e betanina = 60.000 L mol<sup>-1</sup> cm<sup>-1</sup>), e

1 = distância óptica (de 1 cm). O delineamento foi inteiramente casualizado e a determinação da eficiência das variáveis independentes pelo composto central de box (MARAN et al., 2013).

Para testar e otimizar o armazenamento das betalaínas de cactáceas foram analisados o tempo e a condição de armazenagem: de 32, 64 e 96 h, e as temperaturas -20, 0 e 22°C, respectivamente, de acordo com Maran et al. (2013), Sanchez-Gonzalez et al. (2013) e Barbosa et al., (2014), conforme tratamentos abaixo.

**Tabela 2.** Variáveis independentes codificadas e em valores absolutos do experimento para otimização do armazenamento de betalaínas de frutos de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi

Tratamento	Tempo	Temperatura	Tempo (h)	Temperatura (°C)
1	-1	-1	41,4	-12,4
2	1	-1	86,6	-12,4
3	-1	1	41,4	14,4
4	1	1	86,6	14,4
5	- $\alpha$	0	32	1
6	$\alpha$	0	96	1
7	0	- $\alpha$	64	-20
8	0	$\alpha$	64	22
9	0	0	64	1

Os extratos foram obtidos a partir de 27 g de frutos secos com 154 ml de 50% de MeOH, 50% de água destilada e 50 mmol L<sup>-1</sup> de ascorbato de sódio. Foi avaliada a absorbância em espectrofotômetro UV-VIS Mertek® SP-870 (600 nm) (Sanford, North Carolina, EUA) e conteúdo de betalaínas.

A análise foi realizada em três repetições e a análise de regressão e teste dos modelos lineares gerais foi realizada pelo sistema SAS® (North Carolina, EUA) versão 9.2 (Licenciada pela Universidade Federal da Paraíba, 2013).

Recentemente a metodologia de superfície de resposta tem sido utilizada em vários trabalhos para otimizar muitos dos processos de desenvolvimento de produtos à base de produtos naturais (ACOSTA et al., 2008) e em muitas outras operações unitárias envolvidas no processamento de extração de amostras (AKINOSO e ADEYANJU, 2010). A superfície de resposta é composta por um conjunto de procedimentos estatísticos envolvendo várias fases, como a determinação das variáveis independentes e seus níveis, a seleção de delineamento experimental, previsão e verificação de modelo equações, gerando superfícies de resposta e curvas de nível, e por último a determinação dos pontos ótimos (RAI et al., 2012).

## 2.9 Determinação do Conteúdo e Perfil de Betalaínas dos Frutos

O protocolo para extração foi adaptado de Stintzing et al. (2002), com modificações, consistindo em 2g do pericarpo do fruto liofilizado com adição de 5 mL de 50% MeOH e 50 mmol L<sup>-1</sup> de ascorbato de sódio.

Inicialmente foi feita a moagem do fruto liofilizado, em seguida acondicionado em tubos de 50mL. Cada extração foi repetida por cinco vezes, com objetivo de obter o máximo de betalaínas da fase sólida. Após a solubilização, o material foi agitado em vortex por 5 min. a 25°C, em seguida centrifugação a 25°C e 2000 rpm. O sobrenadante foi coletado com auxílio de pipeta semiautomática de 1000 µL. O material coletado foi concentrado em centrífuga de vácuo total (*SpeedVac*) e em seguida dissolvidos em 1 mL 100% MeOH e armazenamento à -20°C. O monitoramento do conteúdo de extrativos será realizado por meio da absorbância em espectrofotômetro UV-VIS Mertek® SP-870 a 600 nm (Sanford, North Carolina, EUA).

Para a precipitação de hidrocolóides foi utilizado 2 mL de 96% de etanol e 1 mL da amostra, o material foi deixado por 20 minutos para a precipitação de proteínas e mucilagens. Para a separação foi utilizada membrana de 0,45 µm Phenomenex®, em seguida lavagem com 2 mL da mistura etanol/água (2:1; v/v). O etanol foi removido sobre temperatura reduzida usando centrífuga com vácuo total (*SpeedVac*) a uma temperatura de 30°C e depois o resíduo foi redissolvido em água acidificada (pH 3).

A separação das betalaínas foi realizada por meio de cromatografia líquida de alta eficiência de fase reversa (RP-HPLC). Esse tipo de cromatografia permite uma alta atração entre o solvente polar e moléculas polares na mistura quando estão passando pela coluna. O equipamento utilizado foi RP-HPLC sistema Agilent® (Santa Clara, CA, EUA) 1200 composto por um desgaseificador de vácuo, bomba binária, com um auto-amostrador, coluna termostatizada e compartimento com detector de fotodiodo, utilizando coluna LUNA C18 (Phenomenex®, Torrance, CA, EUA), uma coluna guarda (C18 ODS). Os eluentes consistiram em 0,2% de ácido trifluoroacético (TFA) e 10% de ácido fórmico [HCOOH (65:35, v v<sup>-1</sup>)], e eluente B preparado com uma mistura de 100% acetonitrila e 10% de HCOOH (80:20, v.v<sup>-1</sup>) (Tabela 3).

**Tabela 3.** Metodologia para cromatografia líquida de alta eficiência para a separação de betalaínas em extratos metanólicos de frutos de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi

Tempo (min.)	Módulo	Ação	Valor (%)
0.01	Bombear	Concentração	5
0.01	Autoamostrador	Injeção	-
0.01	Controlador	Início	-
25.00	Bombear	Concentração	20
29.00	Bombear	Concentração	20
30.00	Bombear	Concentração	100
34.00	Bombear	Concentração	100
35.00	Bombear	Concentração	5
38.00	Autoamostrador	Término	-

O sistema foi acoplado a um espectrômetro de massa (MS) Agilent® 6520 QTOF MS (Quadrupolo com tempo de voo) com um duplo pulverizador (ESI) hifenado a um HPLC. O MS foi operado em modo positivo utilizando as seguintes condições: pressão do nebulizador 35 Psi, caudal de gás 11 L min<sup>-1</sup>, temperatura do gás de 325°C, voltagem capilar de 4000, fragmentor 150 e *skimmer* 65 V. Os dados foram coletados com três repetições e o padrão de fragmentos e suas respectivas massas foram comparados *on-line* com o banco de dados do SciFinder (Sociedade Americana de Química, Los Angeles, CA, EUA).

## 2.10 Análise estatística

Aos resultados foi aplicado a Análise de Variância Multivariada (MANOVA), em se tratando de uma pesquisa exploratória foi utilizado o método de agrupamento por meio de análise de componentes principais, utilizando como variáveis o tempo de retenção e a área dos picos oriundos do HPLC para cada metabólito. Para distinguir e quantificar a variação das betalaínas foi realizada a ANOVA de um critério “*One-way*” com base na razão da área entre os picos para cada população estudada. Para distinguir as populações foi aplicado um teste *Post hoc* para identificar em qual das populações são encontrados espécimes com maior expressão desses metabólitos. As análises foram realizadas no Programa SAS® (North Carolina, EUA) versão 9.2, licenciada pela Universidade Federal da Paraíba, 2013.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 3.1 Caracterização Física e Físico-Química dos Frutos

A massa da matéria fresca do fruto de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* apresentou diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ), cujos maiores valores foram obtidos para os frutos do estágio de maturação V, de 66,27g, e o menor para o estágio I, 33,69g (Tabela 4).

As dimensões dos frutos não apresentaram diferença significativa entre os frutos nos diferentes estádios de maturação. Os valores de comprimento foram entre 3,17 a 4,32 cm para os estádios I e VI, respectivamente, e para o diâmetro os valores foram entre 4,55 a 5,62 cm para os estádios I e III, respectivamente.

Os frutos no estágio de maturação VI apresentaram o maior rendimento de casca, 45,18%, e o menor rendimento de polpa, que diferenciou significativamente ( $p \leq 0,05$ ) dos frutos nos outros estádios de maturação. Os frutos no estágio de maturação I apresentaram os maiores rendimentos de polpa (58,22%) seguido dos estádios IV e II, 56,69 e 56,48%, respectivamente. Os menores rendimentos de polpa e maiores de casca no fruto do facheiro nos últimos estádios de maturação devem-se, possivelmente, ao fato da dificuldade em separá-los pelo avançado amadurecimento dos frutos. Os pesos das sementes foram maiores para os frutos no estágio V (18,79g) e VI (17,99g), que diferiu significativamente dos outros estádios de maturação.

**Tabela 4.** Valores médios das características físicas do fruto de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nos diferentes estádios de maturação

Características físicas	Estádios de maturação					
	I	II	III	IV	V	VI
Massa do fruto (g)	33,69c	47,69b	48,27b	64, 47a	66,27a	52,74b
Comprimento (cm)	3,17a	3,37a	3,97a	3,90a	4,2a	4,32a
Diâmetro (cm)	4,55a	4,71a	5,62a	5,35a	5,67a	5,22a
Firmeza (N)	64,25a	56,46ab	48,67b	41,44bc	35,32c	16,41d
Rendimento da casca (%)	20,47c	21,17c	20,48c	22,28bc	29,33b	45,18a
Rendimento da polpa (%)	58,22a	56,48a	46,46b	56,69a	42,30b	20,70c
Massa das sementes (g)	3,73d	9,22c	14,71b	15,08b	18,79a	17,99a

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de pelo menos 5% de probabilidade.

Na tabela 5 observa-se que houve poucas variações na acidez titulável do fruto no que diz respeito aos diferentes estádios de maturação, em que os frutos nos estádios de maturação I e VI apresentaram valores de 0,035% e 0,036% de ácido cítrico na polpa. A acidez nos vegetais



é relacionada aos ácidos orgânicos que estão presentes no vacúolo das células, em alguns frutos esses ácidos não só contribuem para a acidez, mas também para o aroma característico do fruto (CHITARRA e CHITARRA, 2005).

**Tabela 5.** Valores médios das características físico-química do fruto de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi nos diferentes estádios de maturação

Características químicas	Estádios de maturação					
	I	II	III	IV	V	VI
Acidez titulável (% ácido cítrico)	0,035a	0,032a	0,031a	0,031a	0,029a	0,036a
pH	4,71bc	4,87bc	5,35a	5,04ab	4,82bc	4,59c
Sólidos solúveis (%)	3,56c	3,94bc	3,94bc	4,75a	4,75a	4,31ab

Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si pelo teste de Tukey ao nível de pelo menos 5% de probabilidade.

Pode-se observar que houve diferença significativa ( $p \leq 0,05$ ) nos valores de pH para os frutos de facheiro nos diferentes estádios de maturação. Os valores de pH são utilizados como indicativos de variação na concentração de ácidos orgânicos no fruto, e os maiores valores obtidos foram para os frutos no estágio de maturação III, em que apresentou valores de 5,35, mais não diferindo do estágio de maturação IV (5,04). Silva (2009) caracterizou físico-quimicamente a polpa e a casca do fruto de *Cereus jamacaru* P. DC. (Cactaceae), e obteve valores de pH aproximados a 4,4 para a polpa, resultado este próximo ao encontrado neste trabalho para a polpa do fruto de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis*. Os teores de sólidos solúveis tendem a aumentar com o avanço da maturação, no entanto observa-se que esse teor reduziu no estágio VI com 4,31%. Os maiores valores de sólidos solúveis foram para o estágio IV e V, ambos com 4,75%. Os teores de sólidos solúveis servem também para indicar qual o estágio de maturação para colheita e o tipo de beneficiamento que pode ser aplicado nesse fruto.

### 3.2 Triagem Fitoquímica

Os resultados obtidos na triagem fitoquímica do extrato etanólico bruto do caule e raiz de *P. catingicola* subsp. *salvadorensis* das populações de Arara, Areial e Boa Vista encontram-se na Tabela 6. Dos testes preliminares realizados para a identificação das principais classes de constituintes químicos, foram encontrados na raiz e caule esteroides, flavonoides e saponinas. Foi detectado a presença de flavonoides em todos os espécimes no caule, no entanto a presença de esteroides foi encontrada em sua maioria na raiz (Tabela 2).

A presença de flavonoides e esteróis em cladódios de *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae) foi citada por Brás (2011) e Soares (2012), muitos destes compostos assumem papel regulador, protegendo a planta das intempéries ambientais e principalmente da radiação UV.

Os resultados do perfil fitoquímico para os flavonoides denotam haver diferença entre os acessos e da população, já que a intensidade das respostas das amostras foi diferente, comparando-as aos seus referidos brancos (reagentes com ausência dos extratos) (Tabela 4). A resposta aos flavonoides, para os dois métodos de investigação *Shinoda* (fita-magnésio) e *Taubouk* (fluorescência), foi mais intensa para as populações de Arara e Areal, PB.

**Tabela 6.** Perfil fitoquímico de extrato bruto etanólico de partes morfológicas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi

Espécime	Alcaloide				Esteróide (Liebermann- Burchard)	Tanino	Flavonoide			Saponina
	A	B	C	D		Gelatina 0,5%	FeC l <sub>3</sub> 2%	Fita- magnésio (Shinoda)	Fluorescência (Taubouk)	Espuma
Raiz										
ARA 1	-	-	-	-	++	-	-	-	++	+
ARA 2	-	-	-	-	+	-	-	+	++	++
ARA 3	-	-	-	-	++	-	-	++	+++	++
ARA 4	-	-	-	-	+	-	-	++	+++	++
AR 1	-	-	-	-	+	-	-	+	++	++
AR 2	-	-	-	-	+	-	-	++	+++	+
AR 3	-	-	-	-	+	-	-	++	+++	++
AR 4	-	-	-	-	+	-	-	+	++	++
BV 1	-	-	-	-	++	-	-	+	+++	++
BV 2	-	-	-	-	+	-	-	+	++	-
BV3	-	-	-	-	+	-	-	+	++	+
BV 4	-	-	-	-	++	-	-	-	++	++
Caule										
ARA 1	-	-	-	-	++	-	-	++	+++	++
ARA 2	-	-	-	-	+	-	-	+	++	+
ARA 3	-	-	-	-	++	-	-	+	++	++
ARA 4	-	-	-	-	+	-	-	++	++	++
AR 1	-	-	-	-	+	-	-	++	+++	-
AR 2	-	-	-	-	+	-	-	++	++	-
AR 3	-	-	-	-	+	-	-	+	++	-
AR 4	-	-	-	-	+	-	-	++	+++	-
BV 1	-	-	-	-	-	-	-	+	++	+
BV 2	-	-	-	-	-	-	-	++	++	++
BV3	-	-	-	-	-	-	-	++	+++	++
BV 4	-	-	-	-	-	-	-	++	+++	++

Legenda: (A) *Bouchardat*, (B) *Mayer*, (C) *Dragendorf*, (D) *Bertrand* ou ácido sílico-túngstico; “+++” (intensidade alta), “++” (intensidade média), “+” (intensidade baixa), “-” (reação negativa); ARA, Arara; AR, Areal; BV, Boa Vista, PB.

### 3.3 Conteúdos de Flavonoides e Antocianinas Totais

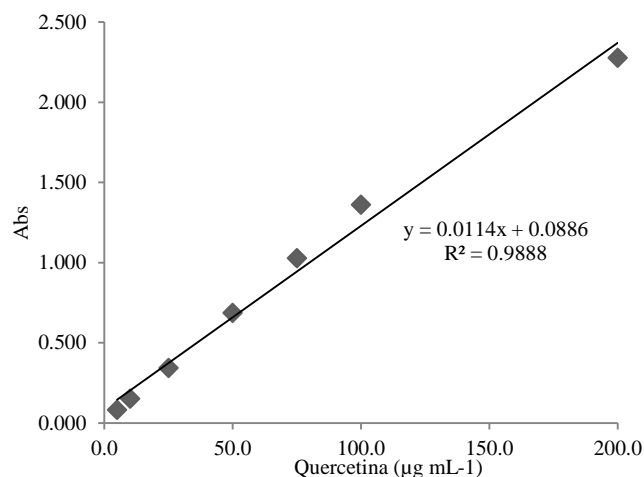
O conteúdo de flavonoides totais, obtidos pela equação da quercetina (Figura 3), não apresentou variação significativa entre as populações estudadas (Figura 4). Os valores variaram de 0,63 mg QE g<sup>-1</sup> MS (AR 39) a 4,48 mg QE g<sup>-1</sup> MS (BV 25) (Figura 3). Os valores encontrados nesse trabalho para os flavonoides totais estão de acordo com os relatados por Guevara-Figueroa et al. (2010) estudando variedades *Opuntia* spp. (Cactaceae) (2,00 a 9,80 mg QE g<sup>-1</sup> MS) e Bari et al. (2012) estudando *O. monacantha* (4,44 mg QE g<sup>-1</sup> MS).

Os flavonoides nas plantas têm uma ampla variação, tanto na sua composição quanto no seu conteúdo, e variam entre espécies e dentro da mesma espécie. Os fatores que contribuem para essa diferença em *Pilosocereus* possivelmente são os fatores genéticos, condições ambientais de crescimento, solos, período de coleta, estresses, idade das plantas, tecidos analisados, temperatura de secagem do caule, métodos de extração e diferenças nas metodologias utilizadas nas determinações (BARI et al., 2012; SANTOS-ZEA et al., 2011).

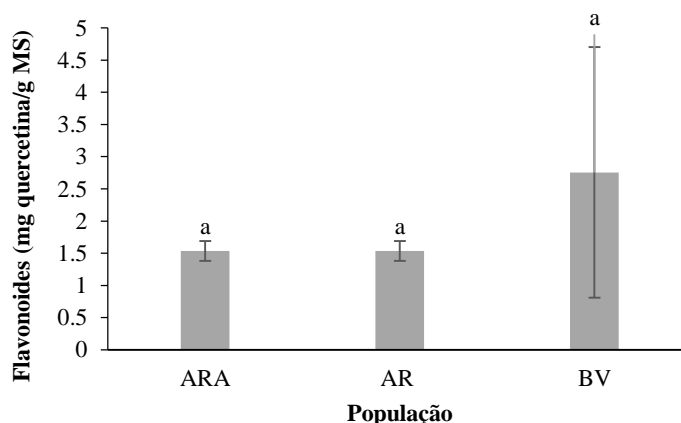
Os flavonoides e seus glicosídeos entre variedades de tomate, dependendo da disponibilidade de água a que as mesmas são submetidas, alguns genótipos apresentam o teor e composição de compostos fenólicos, flavonoides e seus glicosídeos superiores sob irrigação, outros os teores eram maiores em condições de estresse hídrico. No geral esses autores relatam que os compostos fenólicos totais nas variedades são superiores sob regime de irrigação e os flavonoides totais são superiores sob déficit hídrico, corroborando com os resultados encontrados nesse trabalho Sánchez-Rodríguez et al. (2011 e 2012).

Os flavonoides são comumente classificados como “compostos ambientais” por serem produzidos em resposta as condições ambientais (luz ultravioleta, déficit hídrico, estresse salino, baixas temperaturas, déficit de N, níveis de CO<sub>2</sub> elevados) (SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ et al., 2012). Tavarini et al. (2011) relataram que o estresse hídrico induz uma maior biossíntese dos compostos fenólicos em frutos de pêssago. Entretanto, a disponibilidade de água aumenta os compostos fenólicos em variedades de tomate (BARBAGALLO et al., 2008) e cevada (BANDURKA et al., 2012). Os mecanismos que regulam essa influência não estão completamente claros, e existe variabilidade nas respostas entre plantas cultivadas.

Guevara-Figueroa et al. (2010), Santos-Zea et al., 2011 e Bari et al. (2012) estudando flavonoides de variedades de *Opuntia* spp. Relataram conteúdo de flavonoides totais maior que os compostos fenólicos totais associando às condições ambientais de cultivo.



**Figura 3.** Curva de calibração com quercetina para determinação dos flavonoides e antocianinas totais em extratos etanólicos do caule de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi



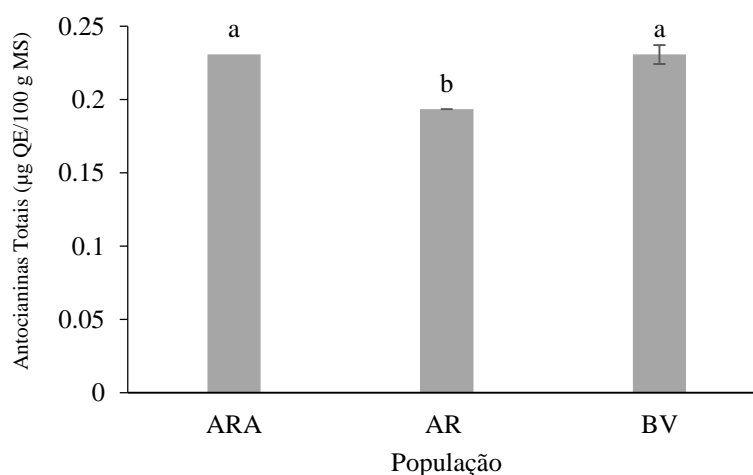
**Figura 4.** Teor de flavonoides totais do caule de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi. ARA, Arara; AR, Areial e BV, Boa Vista, PB. As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Os resultados do conteúdo de antocianinas totais dos acessos de *Pilosocereus catingicola* subsp. *salvadorensis* encontram-se na Figura 5. O conteúdo de antocianinas totais presentes nos caules dos acessos entre as populações variou significativamente ( $P < 0,01$ ). Os

valores variaram de 0,29  $\mu\text{g QE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$  (AR 39) a 0,12  $\mu\text{g QE } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$  (AR 12) (Figura 4).

O teor de antocianinas pode estar relacionado com a redução no suplemento hídrico aumenta o conteúdo de fitoquímicos, tais como compostos fenólicos e antocianinas (BANDURKA et al., 2012).

As antocianinas são metabólitos secundários da classe dos flavonoides e são responsáveis pela coloração que varia de vermelho vivo à violeta e de branco a amarelo claro. Os mesmos podem ser encontrados em todos os tecidos das plantas, incluindo folhas, raízes, caules, frutos e flores (LEMOS, 2008). Em *Opuntia* as betalainas, são metabólitos secundários da classe dos alcaloides, são muito citadas, as mesmas têm uma extraordinária gama de cores que vão desde verde limão, laranja, vermelho ao roxo (YAHIA e MONDRAGON-JACOBO, 2011).



**Figura 5.** Conteúdo de antocianinas totais do caule de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi. ARA, Arara; AR, Areal e BV, Boa Vista, PB. \*As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

A razão da função fotoprotetiva demonstrada por vários tipos químicos de metabólitos (flavonoides, incluindo antocianinas, derivados do ácido cinâmico, xantofilas) pode estar presente em ligação conjugadas, onde a configuração eletrônica deslocada de  $\pi$ -elétrons permite absorvência no espectro visível do UV e facilmente a transferência de energia (COCKELL, 1998). O elétron na ligação  $\pi$  ocorre no anel fechado e estruturas de cadeia longa. As xantofilas

contêm uma série de ligações conjugadas ao longo da cadeia operante no ciclo das xantofilas, permitindo a dissipação de energia prejudicial ao vegetal (DEMMIG-ADAMS, 2003).

Segundo alguns autores há evidência da função dos espectros de massa como antioxidantes e antiradicias, permitindo as plantas a lidar com o estresse oxidativo, o qual é elevado em ambientes semiáridos (GRACE e LOGAN, 2000; GRASSMANN et al., 2002; GOULD et al., 2002). Pode-se citar grupos hidroxí e tiol contendo compostos como ácido ascórbico e ácido lipofílico, grupo *O*-dihidroxí contendo flavonoides como quercetina, e também arilaminas, ácidos graxos insaturados e carotenoides (EDREVA, 2005; EDREVA et al., 2007). A quelatação de metais (Fe) por flavonoides como quercetina interfere na geração de ROS, devido a contribuição do poder antioxidante (LEOPOLDINI et al., 2006).

Em antocianinas a substrução Orto-dihidroxí no anel B potencializam a capacidade antioxidante e foi proposta como um mecanismo de proteção em distúrbios fisiológicos em algodão (*Gossypium* spp.) devido ao estresse oxidativo provocado pelo desbalanço de  $\text{Na}^+/\text{K}^+$  (EDREVA et al., 2006). Aos flavonoides (Glicosídeos e quercetina) e ácido cinâmico, dotados com alta potencial de sequestro de ROS, são atribuídos como responsáveis pela tolerância do algodão a seca (AKTAŞ et al., não publicado).

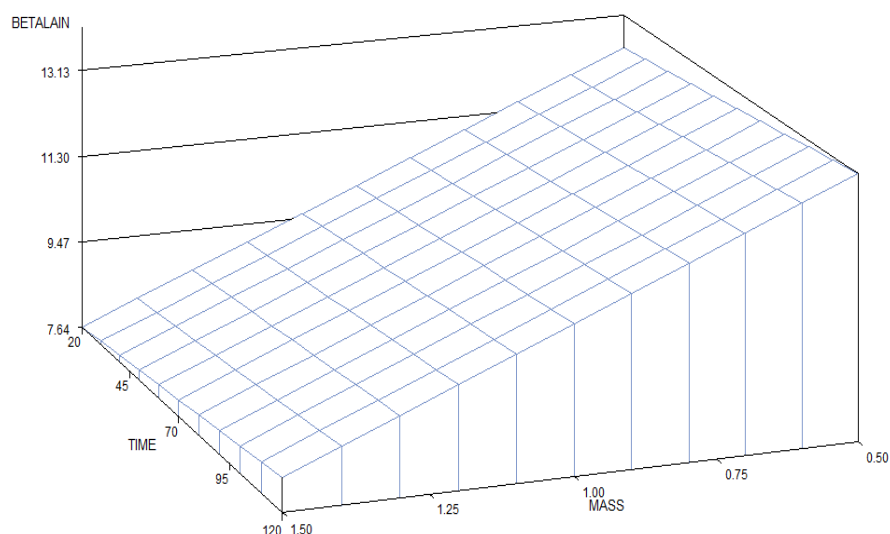
Os compostos fenólicos incluindo os flavonoides, antocianinas, ligninas dentre outros, são as mais importantes classes de MS os quais conferem a tolerância das plantas aos mais diversos estresses abióticos (WAHID e GHAZANFAR, 2006; WAHID, 2007). Alguns estudos redomendam a acumulação de fenólicos solúveis sobre condições de aumento de temperatura, comportamento semelhante da PAL (Fenilalanina amônia liase) e redução na peroxidase e atividade da polifenol liase. As antocianinas e flavonoides são altamente modulados em tecido vegetais pela alta temperatura ambiental (WAHID, 2007).

### **3.4 Modelagem da Extração e Armazenamento de Betalaínas**

O efeito linear foi observado em relação a tempo e massa (Figura 6), enquanto que o tempo de extração aumentou a estabilidade (absorbância) e a concentração de betalaínas, a massa teve efeito significativo no conteúdo de extraídos ( $P < 0,01$ ). Com o aumento a massa seca liofilizada não houve incremento na concentração de betalaínas extraídas da fase sólida ( $P < 0,01$ ), ou seja, o comportamento foi inversamente proporcional entre a massa e o conteúdo de extraídos (Figura 6).

Não foi possível verificar efeito significativo na interação entre tempo e massa, e ambos mostram a mesma tendência em relação ao conteúdo de betalaínas. Tendo por base o conteúdo de betalaínas, a extração foi explicada pelo modelo linear:  $BC = 14.7 + 0.0069T - 4.8M$  ( $R^2=0.84$ ,  $CV=8.02$ ). De acordo com esse modelo para máxima eficiência na extração, 0,55 g de fruto seco liofilizado por um período de 95 minutos, pode ser utilizado. Extrações por um período acima de 115 min. afetaram a coloração e conteúdo das betalaínas, possivelmente devido a decomposição dos compostos ativos durante um período prolongado de extração (MAKRIS et al., 2007). Fato também associado ao solvente, como por exemplo soluções com elevadas concentrações de metanol e maior temperatura e tempo de extração quebram as ligações de hidrogênio da estrutura quaternária das betalaínas e pode formar outros componentes. Neste sentido, a utilização de água em ambos solventes alcoólicos contribui para a maior eficiência de extração (SANCHEZ-GONZALEZ et al., 2013).

Maran et al. (2013) avaliando temperatura, tempo, massa e pH no processo de extração de betalaínas de frutos de *Optuntia ficus-indica* observaram que esses fatores afetam esta variável e determinaram para a extração a temperatura de 42°C, por um período de extração de 115 minutos utilizando quantidade mínima de massa seca, 1,2 g, e pH da solução de 6,9, essas condições foi possível extrair 41,54 mg 100<sup>-1</sup>. Em outro estudo com *Opuntia joconostle* cv., Sanchez-Gonzalez et al. (2013) obtiveram em temperatura d 15°C a 10 min de extração em metanol/água (20:80), e a estabilidade máxima dos pigmentos foram alcançados em pH 5 e 25° de temperatura.



**Figura 6.** Conteúdo de betalaínas do fruto de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em relação ao tempo e a massa de extração

A estabilidade (absbância) das betalaínas foi afetada pelo tempo de extração e pela massa da fração sólida (Tabela 7). O tempo de 34,6; 70; 105,4 e 120 min. de extração apresentaram maior absorbância, foi possível observar efeito da massa acima de 1g. O tempo de extração aumentou a eficiência da extração roavelmente devido ao fato de quando o processo ocorre em meio com reduzido teor de água concentração de água, exigindo mais energia e tempo para a hidratação da matéria vegetal e a separação dos açúcares associados com a aglicona, permitindo-se assim uma melhor extração (SANCHEZ-GONZALEZ et al., 2013)

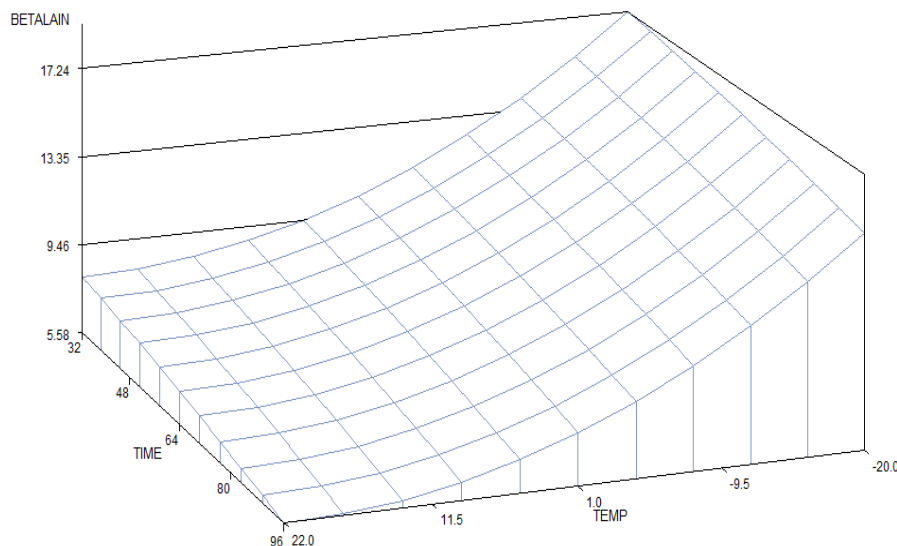
**Tabela 7.** Estabilidade (Abs, absorbância) de pigmentos betalaínicos de frutos de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em relação ao tempo e a massa de extração. Médias e desvios padrão de amostras em triplicata

Tempo (min.)	Massa (g)	Abs ( $\lambda$ 600nm)	Desvio padrão
34,6	0,65	0,670	$\pm$ 0,019
105,4	0,65	0,611	$\pm$ 0,050
34,6	1,35	0,919	$\pm$ 0,201
105,4	1,35	0,886	$\pm$ 0,005
20	1,00	0,733	$\pm$ 0,047
120	1,00	0,924	$\pm$ 0,076
70	0,50	0,581	$\pm$ 0,014
70	1,5	0,946	$\pm$ 0,046
70	1,00	0,799	$\pm$ 0,072



Estudos anteriores demonstraram que os rendimentos na extração de betalaínas foram alcançados quando se trabalhou com os menores partículas granulométricas, provavelmente devido ao aumento da superfície de troca e redução no comprimento necessário para o soluto alcançar a superfície sólida e assim reduzir o tempo de extração (PINELO et al., 2005;.. SILVA et al., 2007).

O conteúdo betalainas foi afetado pelas condições de armazenamento ( $P < 0,01$ ) (Figura 7). Tempo e temperatura demonstraram duas tendências diferentes, enquanto o primeiro foi linear a segunda apresentou comportamento quadrático. A temperatura afetou consideravelmente o conteúdo betalainas de acordo com as condições experimentais ( $P < 0,01$ ). Temperaturas mais baixas são adequadas para armazenamento betalainas caso o extrato não seja processado imediatamente. Este modelo ajustou-se ao experimento  $BC = 11,195 - 0,0167T - 0,00017T^2 - 0,2299C + 0,0054C^2$  ( $R^2=0,91$ ,  $CV=14,45$ ), sendo que para a máxima eficiência durante o armazenamento de betalaínas a temperatura de  $-62,2\text{ }^{\circ}\text{C}$  é recomendada de acordo com o modelo matemático.



**Figura 7.** Conteúdo de betalaínas do fruto de *Pilosocereus cattingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em relação ao tempo e temperatura de armazenamento

A estabilidade (absbância) das betalaínas foi afetada pelo tempo e temperatura de armazenamento (Tabela 8). O tempo de armazenamento associado às temperaturas de armazenamento de  $86,6$  à  $-12,4$ ;  $64$  à  $22$  e  $86,6$  à  $14,4^{\circ}\text{C}$  foram responsáveis pelos maiores

percentuais de degradação 18,5 ( $\pm 1,6$ ); 16,8 ( $\pm 4,4$ ) e 42,6% ( $\pm 19,1$ ), respectivamente (Tabela 8).

**Tabela 8.** Estabilidade (Abs, absorbância) de pigmentos betalaínicos de frutos de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi em relação ao tempo e temperatura (Temp.) de armazenamento. Médias e desvios padrão de amostras em triplicata

Tempo (h)	Temp. (°C)	Abs. ( $\lambda 600\text{nm}$ )	Desvio padrão	Degradabilidade (%)	Desvio padrão
41,1	-12,4	0,753	$\pm 0,021$	0,0	$\pm 2,8$
86,6	-12,4	0,597	$\pm 0,012$	18,5	$\pm 1,6$
41,4	14,4	0,859	$\pm 0,116$	0,0	$\pm 15,9$
86,6	14,4	0,640	$\pm 0,032$	12,6	$\pm 4,4$
32	1,00	0,732	$\pm 0,014$	0,0	$\pm 1,9$
96	1,00	0,703	$\pm 0,013$	4,0	$\pm 1,8$
64	-20,0	0,729	$\pm 0,035$	0,4	$\pm 4,8$
64	22,0	0,609	$\pm 0,140$	16,8	$\pm 19,1$
64	1,00	0,736	$\pm 0,013$	0,5	$\pm 1,7$

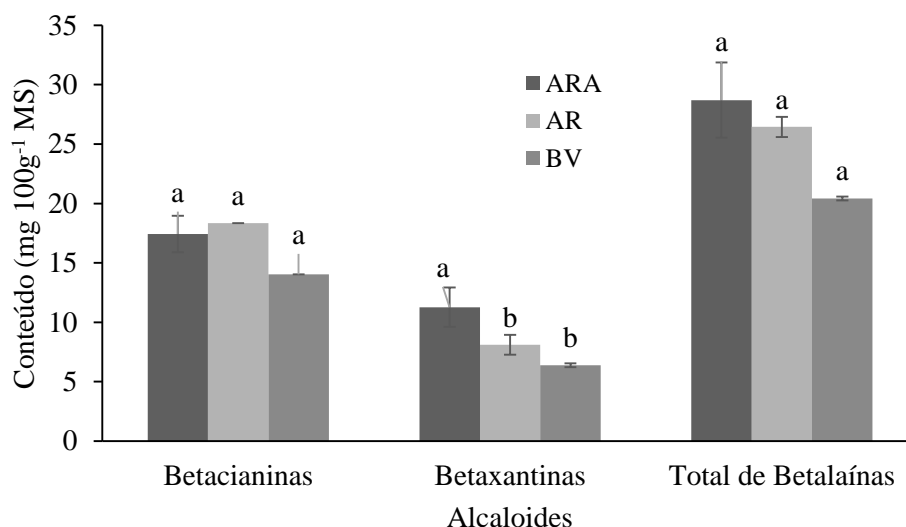
Sánchez-Rodríguez et al. (2013) referindo-se às betacianinas reportou perdas durante processos com aquecimento. Se aquecidas a alta temperaturas ( $> 60^\circ\text{C}$ ) e durante períodos prolongado, acima de 60 min., ocorre hidrólise destes metabólitos em alta cinética, resultando na produção de ácido betalâmico e ciclo Dopa 5-*O*-glucoside como produtos intermediários, perda de cor é maior devido à aumento da ruptura da ligação aldimina, resultando em dois compostos incolores.

A extração dos compostos bioativos a partir da fase sólida de vegetal permeáveis constitui num passo importante na a manufatura de produtos fitoquímicos. A aplicação desta tecnologia de baixo custo para obter moléculas para serem usadas como aditivos alimentares ou produtos nutracêuticos apresenta-se como uma estratégia adequada para a exploração de alguns produtos não-madeireiros encontrados em florestas equatoriais como os frutos de *Areaceae* (POMPEU et al., 2009) e, naturalmente nas *Cactaceae* da caatinga brasileira.

### 3.5 Quantificação e Perfil de Betalaínas

O conteúdo de betacianinas entre os espécimes das populações ( $\text{mg } 100\text{g}^{-1}$ ) em relação a matéria seca (MS) do fruto não diferiu estatisticamente quando comparados entre-se (Figura 8). Os conteúdos de betacianinas foram de 17,4; 18,3 e  $14,0 \text{ mg } 100\text{g}^{-1}$  para Arara, Areial e Boa

Vista, respectivamente. O de betaxantinas apresentou diferença significativa em relação às populações em estudo, sendo o maior conteúdo encontrado em Arara (11,20 mg 100g<sup>-1</sup> MS) sendo superior à média da população de Areial (831 mg 100g<sup>-1</sup> MS) e Boa Vista, PB (6,3 mg 100g<sup>-1</sup> MS) (Figura 5). O conteúdo total de betalaínas foi de 28,7; 26,4 e 20,4 mg 100g<sup>-1</sup> MS, para as populações de Arara, Areial e Boa Vista, respectivamente (Figura 8).



**Figura 8.** Conteúdo de betalaínas (betacianinas e betaxantinas) de *Pilosocereus cattingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi. ARA, Arara; AR, Areial e BV, Boa Vista, PB. \*As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

O conteúdo de betalaínas expresso por *P. pachycladus* está próximo daquele apresentado por outras espécies de *Cactaceae* 80,1; 19,6 e 15,2 mg 100 g<sup>-1</sup> de frutos do *O. stricta*, *O. undulata*, e *O. ficus-indica*, respectivamente (CASTELLAR et al., 2003) e daqueles reportados por Castellanos-Santiago e Yahia (2008) 8,10 a 0,13 mg g<sup>-1</sup> de cultivares de *O. ficus-indica*. Todavia, esses conteúdo de betalaínas são inferiores aos de outros grupos vegetais como variedades de *Beta vulgaris* com 40-60 mg 100g<sup>-1</sup> (VON ELBE et al., 1981), e algumas *Amaranthaceae* reportados por Cai et al., (2001) obtendo valores de 15,4 a 46.9 mg g<sup>-1</sup> da matriz seca.

O perfil de betacianinas expressos pelos espécimes é igual para todas as populações estudadas (Figura 9), no entanto a absorvância de alguns constituintes distinguiu-se quando levado em consideração os locais de coleta (Figura 10a, b e c).

O primeiro pico do cromatograma foi caracterizado como uma betanina (Figura 10a, b e c; Figura 11a), composta por tempo de retenção (RT) na coluna de 10,53 min. e 551.15  $m/z$  cujos íons filhos foram 389, 309, 507, padrão de fragmentação encontrado por Wybraniec e Nowak-Wydra (2007), trabalhando com frutos de cactos do gênero *Mammillaria*; reportado por Strack et al. (2003) em plantas da família *Amaranthaceae*; Stintzing et al. (2002) estudando frutos de *O. ficus-indica*; Jerz et al. (2008) trabalhando com separação de betalaínas de *Phytolacca americana* e Wybraniec et al. (2009) trabalhando com betalaínas e *Hylocereus polyrhizus* (Cactaceae).

O segundo pico foi caracterizado como uma 2'-O-Apiosil-isobetanina (RT 12.73min.; 683.19  $m/z$  e íons filho 551, 389 e 345) (Figura 10a, b e c), essa betacianina foi esteve então desconhecida em Cactaceae e mais recentemente elucidada por meio de cromatografia líquida de alta eficiência, cromatografia de interação iônica e espectrometria de massa por Wybraniec et al. (2009) como uma forma isomérica da betanina.

O terceiro pico foi caracterizado como uma Iso-betanina (Figura 10a, b e c; Figura 11b) (RT 12.96min.; 551.15  $m/z$  e íons filhos 389, 507 e 344), sendo esse padrão obtido por Wybraniec e Nowak-Wydra (2007); Stintzing et al. (2002); Jerz et al. (2008) em *Mammillaria*, *O. ficus-indica*, *Phytolacca americana* respectivamente.

O quarto pico foi caracterizado com uma 17-decarboxi betanina (RT 13.51min.; 507.16  $m/z$  e íons filhos 345, 399 e 307) (Figura 10a, b e c), caracterizado também por Wybraniec e Nowak-Wydra (2007) em *Mammillaria*. Essas betacianinas descarboxiladas podem ocorrer quando normalmente o extrato alcoólico passa por processos de aquecimento (Wybraniec et al., 2009). Neste sentido, à temperatura ambiente pode exercer efeito neste processo e, portanto, o maior tempo de exposição em solventes, ácidos e água pode causar a formação destes compostos.

Em ensaio realizado por Jerz et al. (2008) em análise IP-HSCCC (*Ion-Pair High-Speed Counter-Current Chromatography*) confirmaram a presença e de betanina o descarboxilada (2-decarboxi e 17-decarboxi betanina/ isobetanina) e a neobetanina, derivados de betanina foram caracterizados em estratos de *P. americana*.

A presença de descarboxi-betacianinas nas amostras pode ser um indicador de descarboxilação ocorrendo normalmente durante o processo de extração e filtragem do material em temperaturas elevadas. A descarboxilação dos pigmentos podem também ocorrer entre a colheita e tempo de congelamento do material (WYBRANIEC e NOWAK-WYDRA, 2007).

O quinto pico foi identificado como uma filocactina (RT 15.2min.; 637.15  $m/z$  e íons filhos 593, 389 e 551) (Figura 10a, b e c; Figura 11a). Segundo Strack et al. (2003) esta betacianina é característica de compostos de frutos de Cactaceae. A ligação do resíduo malonil na filocactina para a posição 6-*O* da glicose foi deduzida por análise de permetilação e foi comprovada por técnicas de espectroscopia em  $^1\text{H}$  NMR da filocactina isolada de flores de *Schlumbergera buckleyi* (Cactaceae) (MINALE et al., 1966; KOBAYASHI et al., 2000).

O sexto pico foi caracterizado como uma 2-decarboxi-2,3-dihidrobetanina (RT 16.06min.; 637.16  $m/z$  e íons filhos 389 e 375) (Figura 10a, b e c). Este composto foi descrito como sendo exclusivo de *B. vulgaris* e sua forma descarboxilada como sendo em função do efeito da temperatura (HERBACH et al., 2004).

O sétimo pico foi caracterizado com uma Iso-filocactina (RT 16.06min.; 637.16  $m/z$  e íons filhos 389 e 375) (Figura 10a, b e c; Figura 11b), com padrão de fragmentação molecular encontrado por Wybraniec e Nowak-Wydra (2007) e Wybraniec et al. (2009) em *H. polirhizus*.

O oitavo pico foi identificado como sendo 6'-*O*-malonil-2-decarboxi-betanina (RT 16.25min.; 593.16  $m/z$  e íons filhos 345 e 389) (Figura 10a, b e c) com padrão de fragmentação molecular encontrado por Wybraniec e Nowak-Wydra (2007) em *H. polirhizus*.

O nono pico trata-se de uma betacianina não identificada (RT 16.89 min.; 785.24  $m/z$  e íons filhos 311, 452 e 637) (Figura 10a, b e c), não sendo possível encontrar quaisquer compostos de referência base do Scifinder. Neste sentido, o que sugere novos experimentos especialmente envolvendo técnicas de espectroscopia como a Ressonância Nuclear Magnética (NMR), com objetivo de sua identificação.

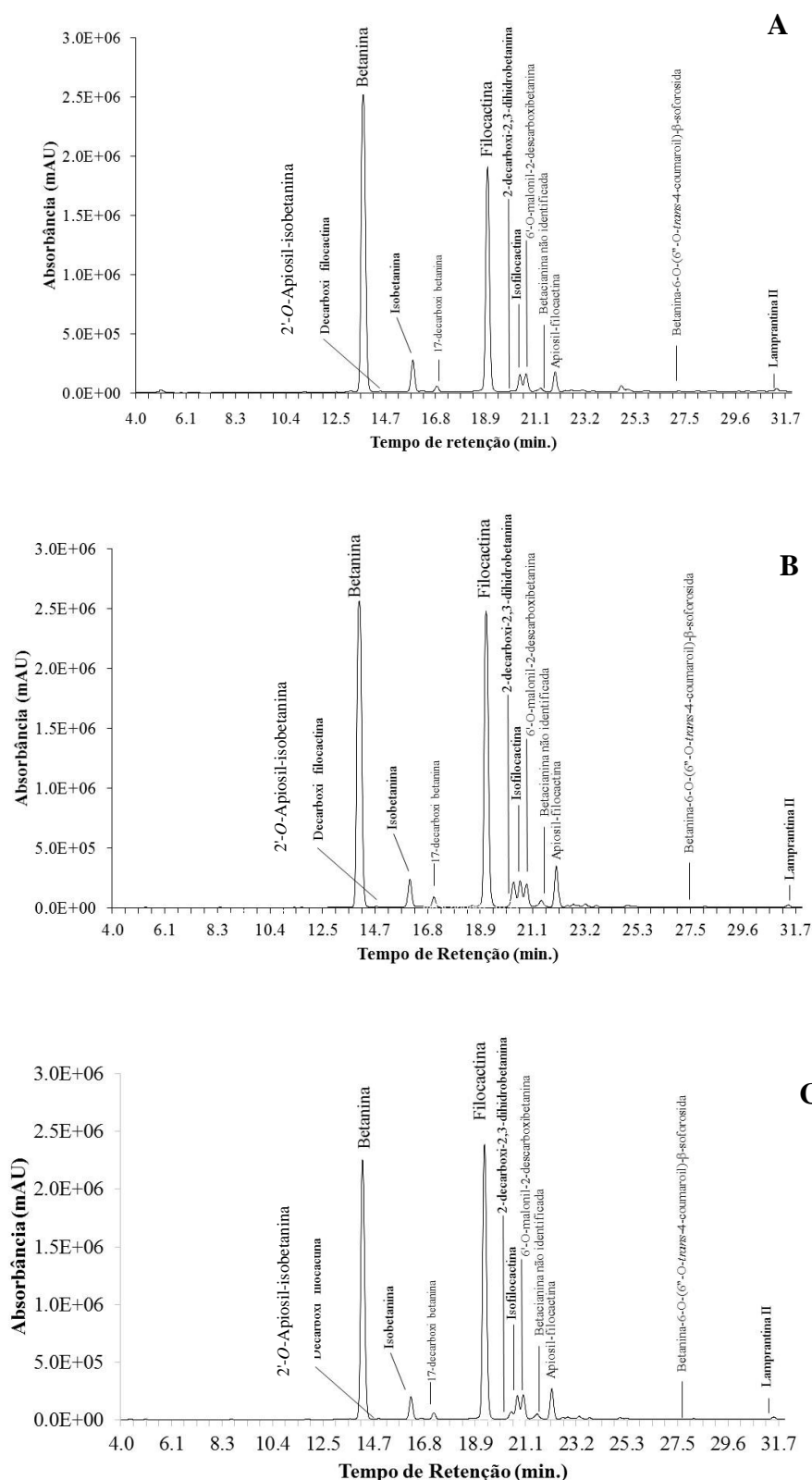
O décimo pico trata-se de uma Apiosil-filocactina (RT 17.5 min.; 769.19  $m/z$  e íons filhos 549, 637 e 389) (Figura 10a, b e c). O décimo primeiro uma betanina-6-*O*-(6"-*O*-trans-4-coumaroil)- $\beta$ -soforosida (RT 22.28min.; 859.24  $m/z$  e íons filhos 333, 377 e 571) relatado por Strack et al. (2003) em experimentos com plantas da família *Amaranthaceae*.

O décimo segundo a Lamprantina II (Figura 10) (RT 30.3 min.; 727.2  $m/z$  e íons filhos 303, 585 e 389) (Figura 10a, b e c; Figura 13). Strack et al. (2003) analisando a estrutura da lamprantina II (6'-*O*-*E*-feruloyl-betanin) (727  $m/z$ ), observou presença de uma pentose adicional confirmada por RMN e análise de açúcares. Em um estudo realizado por Vogt et al. (1999) observaram acúmulo deste composto em resposta ao estresse por luz em camadas da epiderme de *Mesembryanthemum crystallinum* (Aizoaceae).

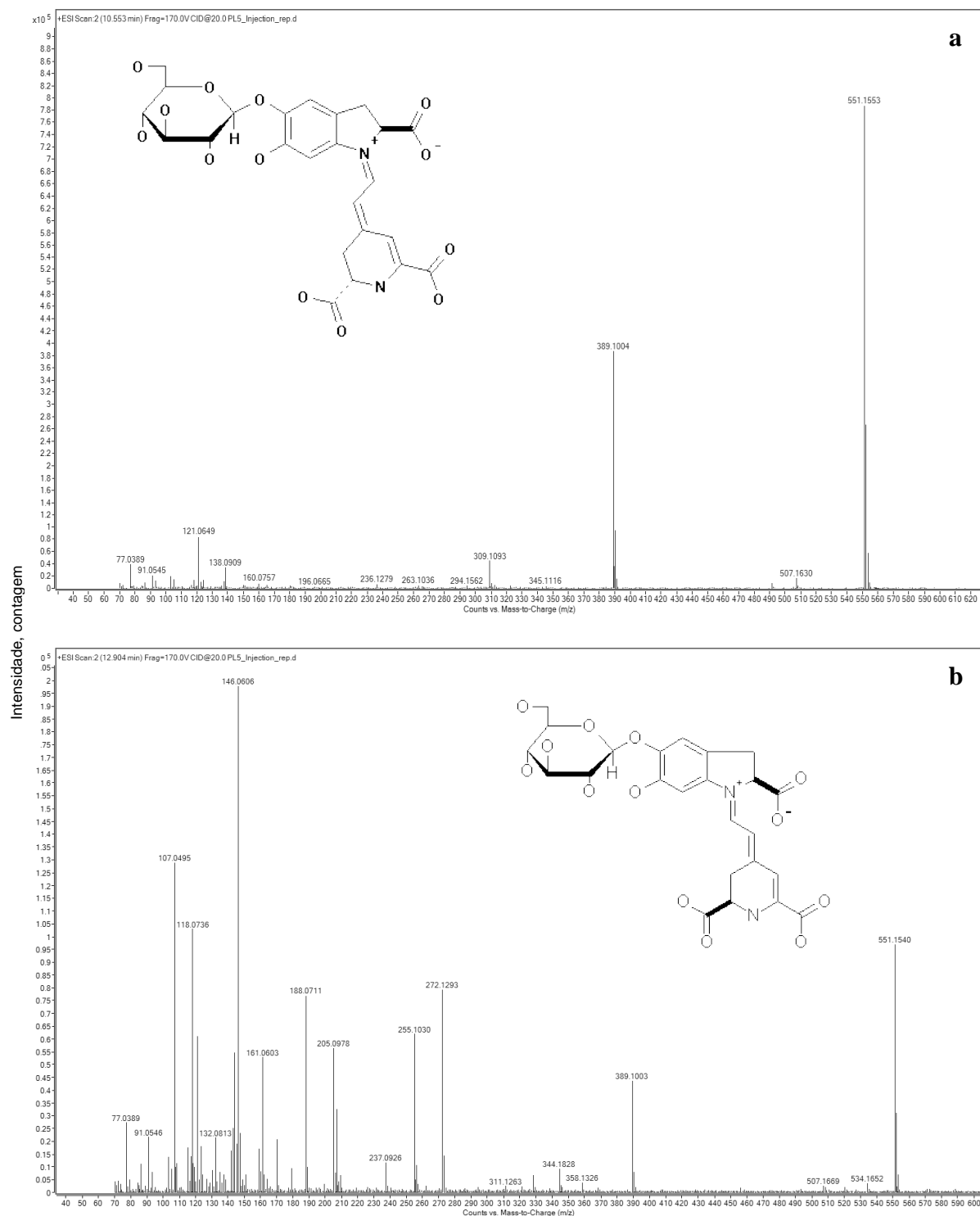
A cromatografia líquida acoplada a espectrometria de massa (LC-MS) e detector de fotodiodo (PAD) permitiu a imediata análise química, também conseguida por

Chauhan et al. (2013). A espectrometria de massa foi útil para fornecer peso molecular e informação estrutural das bandas cromatográficas. Stintizing et al. (2002) obtiveram separação e identificação betalains a partir *B. vulgaris* e *O. ficus-indica*, por meio de série HP 1.100 sistema de HPLC (Hewlett Packard, Waldbronn, Alemanha).

Castellano-Santiago e Yahia (2008) alcançaram separação e identificação de betalaínas em frutos de *Opuntia* spp., utilizando sistema semelhante ao deste trabalho. Outra técnica com acurácia é a ressonância magnética nuclear (RMN) da qual pode-se fornecer a estrutura inequívoca da molécula (Stintizing et al., 2003). Estudos empreendidos por Stintizing et al. (2004) analisaram betacianina pigmentos por LC-RMN e espectroscopia de RMN 2D de *Hylocereus polyrhizus* a pH neutro. Wybraniec et al. (2006); Wybraniec e Nowak-Wydra (2007) caracterizam e betanina descarboxilada, filocactina e hilocerenina em *H. polyrhizus* e mamilarinina usando  $^1\text{H}$  e espectroscopia de RMN de  $^{13}\text{C}$ , respectivamente.

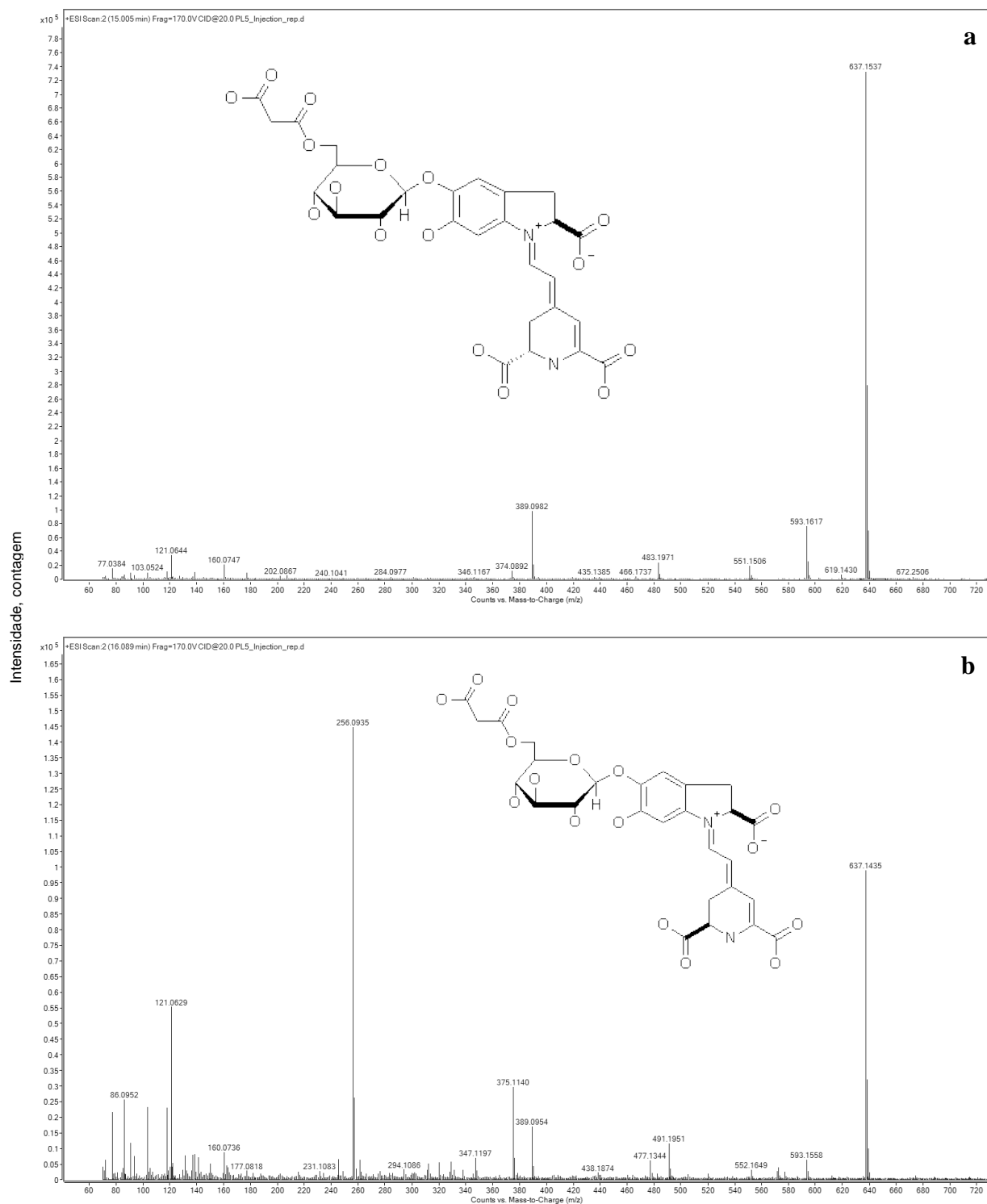


**Figura 10.** Cromatograma do perfil de betalainas de extratos metanólicos de frutos de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi. das áreas de Arara (a), Areial (b) e Boa Vista, PB (c)

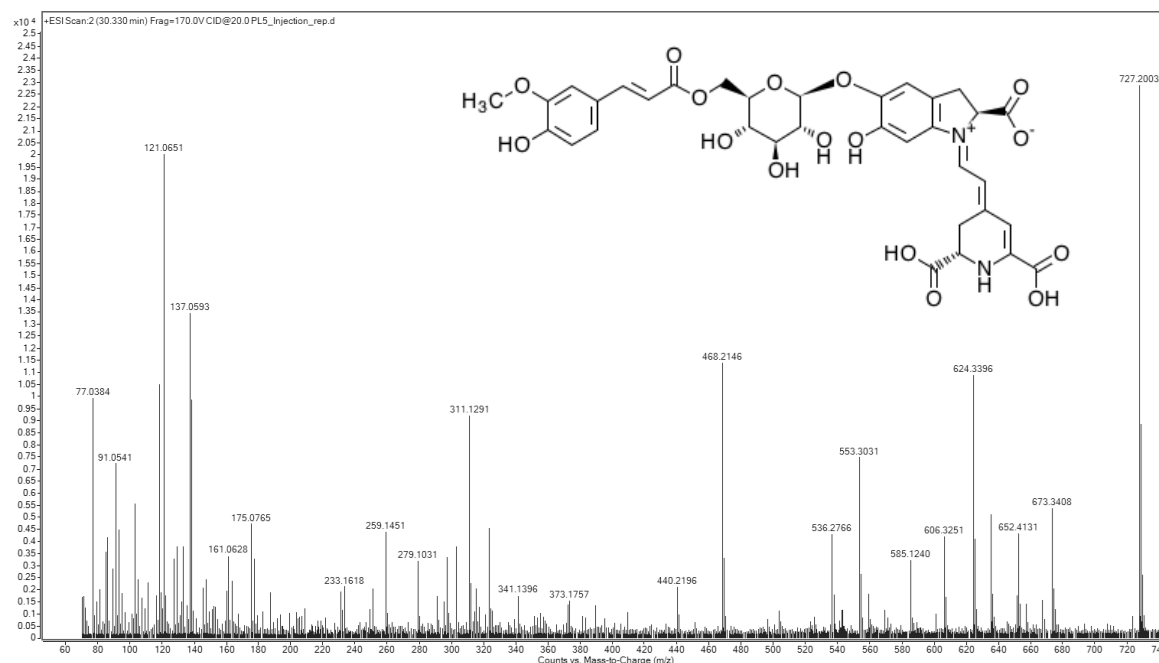


**Figura 11.** Espectro de massa de spray de íons em modo positivo correspondendo a betanina (a) Escaner com íon emparelhado  $m/z$  551,15 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do  $m/z$  389; 309; 507 [Betanina  $+H]^+$ . *Iso*-betanina (b) Escaner com íon emparelhado  $m/z$  551,15 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do  $m/z$  389; 507; 344 [*Iso*-betanina  $+H]^+$  como exemplos do padrão da fragmentação dos isômeros de betacianinas.



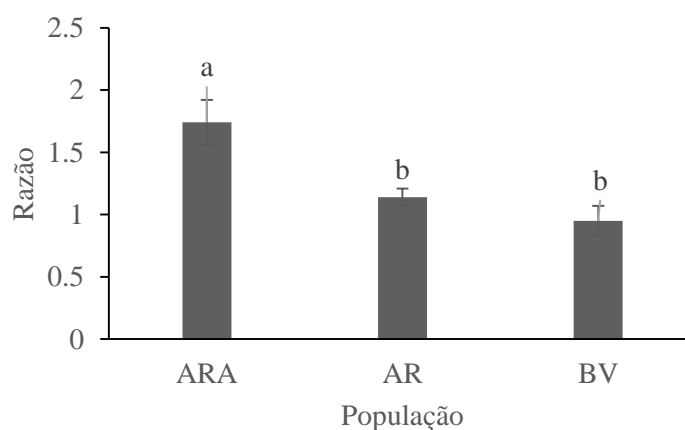


**Figura 12.** Espectro de massa de spray de íons em modo positivo correspondendo a filocactina (a) Escaner com íon emparelhado  $m/z$  637,15 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do  $m/z$  593; 389; 551 [Filocactina +  $H$ ] $^+$ . *Iso-filocactina* (b) Escaner com íon emparelhado  $m/z$  637,16 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do  $m/z$  389; 375 [*Iso-filocactina* +  $H$ ] $^+$  como exemplos do padrão da fragmentação dos isômeros de betacianinas.



**Figura 13.** Espectro de massa de spray de íons em modo positivo correspondendo a lamprantina II. Escaner com íon emparelhado  $m/z$  727,2 ( $[M + H]^+$ ); íons filhos do  $m/z$  303; 585; 389  $[Lamprantina + H]^+$  como padrão da fragmentação dos isômeros de betacianinas.

Com base na razão da área dos dois picos principais correspondentes a betanina e filocactina foi possível distinguir, em princípio, as três populações. O perfil para esses compostos é semelhante para as populações de Areial e Boa Vista, contudo distingue-se em termos quantitativos em relação a população de Arara, PB (Figura 14).



**Figura 14.** Razão entre as áreas dos picos correspondentes a betanina: filocactina do cromatograma para as populações de *Pilosocereus catincola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi de Arara (ARA), Areial (AR) e Boa Vista (BV). \*As médias seguidas pela mesma letra nas colunas não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade

Nos últimos anos vem aumentando o interesse pelo desenvolvimento corantes naturais, principalmente por causa da aparente toxicidade dos sintéticos e, estes últimos ambientalmente poluentes, essa demanda vem sendo pressionada pela forte pressão dos consumidores. Essa conscientização vem aumentando a dia-a-dia culminando com o interesse dos consumidores no sentido de adquirirem produtos alimentares naturais seguros. Assim os pigmentos naturais são alternativas para indústria alimentícia (WANG et al., 2006), o que vem resultando em aumento em pesquisas com corantes naturais.

As cactáceas são uma alternativa para fornecer corantes naturais em substituição aos sintéticos. Dentre estas Park et al. (1998) e Stintzing et al. (2005) mencionaram *O. ficus-indica* como uma das mais promissoras fonte de betalaínas na família, não apenas como agentes de coloração mas também agente com efeitos de promoção da integridade celular por meio da remoção de radicais livres e propriedades de redução. Os extratos de frutos de *O. ficus-indica* exibiram capacidade antioxidante em vários ensaios *in vitro*, incluindo naturalmente a oxidação de lipídios em células de glóbulos vermelhos do sangue e da oxidação do LDL humano induzidas por cobre e 2,2-azobis (2-amidinopropano) dihidroclorato (TESORIERE et al., 2004) e o extrato etanólico de cladódios mostram efeito anti-inflamatório e analgésico (PARK et al., 1998).

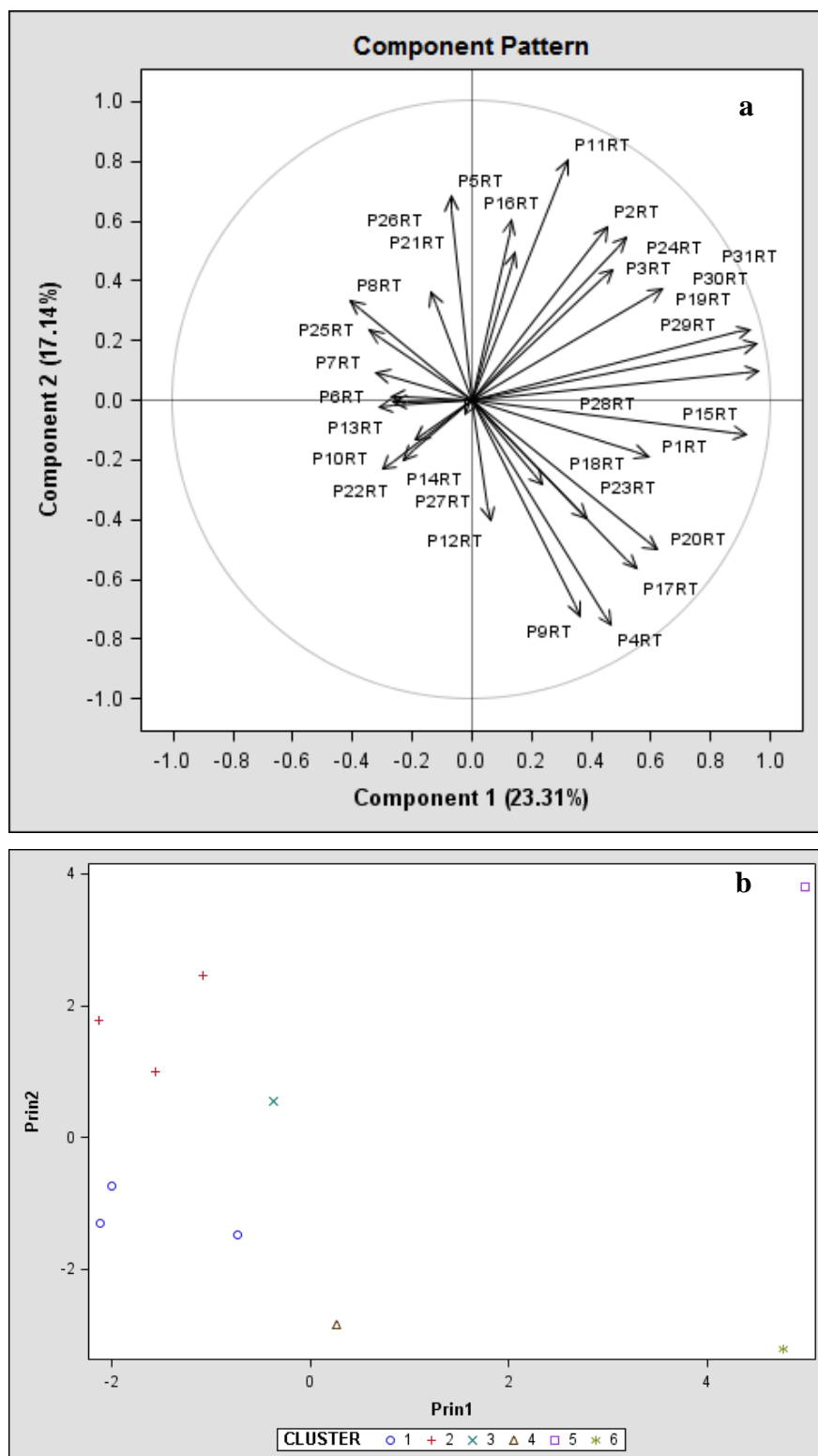
Os corantes naturais, com as betacianinas e betaxantinas, demonstradas neste trabalho apresentam excelentes características nutricionais, antioxidantes e sequestradora de radicais livres (STRACK et al., 2003) e sua presença na dieta pode reduzir o risco de doenças cardiovasculares, câncer e doenças associadas com a idade (DELGADO-VARGAS et al., 2000). Ensaios com betalaínas de *Rivina humilis* L. (Phytolaccaceae) demonstrou a efetiva ação contra a peroxidação lipídica e *in vitro* citotoxicidade em células cancerígenas (KHAN et al., 2012).

### 3.6 Análise de Agrupamento dos Metabólitos Secundários Expressos

A análise de componentes principais demonstrou que o componente 1 foi formado pelos metabólitos *P1RT*, *P4RT*, *P9RT*, *P12RT*, *P15RT*, *P17RT*, *P18RT*, *P19RT*, *P20RT*, *P23RT*, *P29RT*, *P30RT* e *P31RT* (metabólitos codificados), o qual explicou 23,3% da variância proporcional. O componente 2 formados pelos metabólitos *P2RT*, *P3RT*, *P5RT*, *P6RT*, *P7RT*, *P8RT*, *P10RT*, *P11RT*, *P13RT*, *P14RT*, *P16RT*, *P21RT*, *P24RT*, *P25RT*, *P26RT*, *P27RT* e *P28RT*, explicando 17,1% da variância proporcional da análise multivariada. Juntos os dois componentes explicaram 40,4% da variância cumulativo levando em consideração os dois componentes (Figura 15a).

Na análise de agrupamento foi permitido agrupar os acessos quanto a todos os picos do cromatograma, tendo por base o tempo de retenção na coluna analítica do HPLC. Foram formados seis grupos levando-se o menor desvio padrão (Desv. 0,60) o valor máximo para o coeficiente de determinação ( $R^2$ 0,97). O grupo 1 formado pelos tempos de retenção dos picos das amostras AR3 (Areial), BV2 (Boa Vista) e ARA1(Arara); o grupo 2 composto por ARA3 (Arara), BV1 (Boa Vista) e AR4 (Areial); o grupo 3 por apenas pela amostra de um espécime ARA 4 (Arara); o grupo 4 formado por um único espécime de Areia, AR2; O grupo 5 formado por apenas um elemento de Arara, ARA2 e o grupo 6 apenas pelo espécime AR1 (Figura 15b).

De acordo com a análise de agrupamento os espécimes das três áreas produzem o perfil metabólicos muito semelhante, apesar de haver grupos distintos, onde, foi possível agrupar unitariamente apenas um espécime. Esse fato, deve-se em parte ao método ou acurácia no tempo de retenção dos constituintes na coluna analítica ou a outros fatores mais relacionado a espécie. A hipótese que se levante é de que processos enzimáticos na formação dos compostos podem ser afetados em função de variáveis locais abióticas, como a variabilidade da precipitação pluvial e a mudança de temperatura o longo do dia e da noite, e neste sentido, estudos podem ser empreendidos para elucidar melhor esses questionamentos.



**Figura 15.** Análise de agrupamento para o perfil de betalaínas de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi coletados em áreas de caatinga do Agreste do estado da Paraíba. Picos do cromatograma (a) e agrupamentos em relação ao tempo de retenção na coluna analítica para as amostras de Arara (ARA), Areial (AR) e Boa Vista (BV)

#### 4 CONCLUSÕES

As raízes e o caule de *Pilosocereus catingicola* (Gürke) Byles & Rowley subsp. *salvadorensis* (Werderm.) Zappi contêm esteroides, flavonoides e saponinas e os frutos, alcaloides, destacando-se as betalaínas. As betaninas e filocactinas são os alcaloides de maior abundância.

A presença de betacianinas e betaxantinas, presentes na espécie, remete ao seu potencial uso como fonte de compostos antioxidantes e corantes naturais na indústria farmacêutica, cosmética e alimentícia.

## 5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABUD, H. F.; GONÇALVES, N. R.; REIS, R. G. E.; PEREIRA, D. S.; BEZERRA, A. M. E. Germinação e expressão morfológica de frutos, sementes e plântulas de *Pilosocereus pachycladus* Ritter. **Revista Ciência Agronômica**, Ceará, v. 41, n. 3 p. 468-474, jul-set, 2010.
- ACOSTA, O.; VIQUEZ, F.; CUBERO, E. Optimization of low calorie mixed fruit jellyby response surface methodology. **Food Quality and Preference**, 19, 79–85. 2008.
- AKINOSO, R.; ADEYANJU, J.A. Optimization of edible oil extraction from ofada ricebran using response surface methodology. **Food and Bioprocess Technology**. 5, 1372–1378. 2010.
- ANDERSON, E. F. **The cactus family**. Timbre Press. Portland, Oregon, 2001. 777 p.
- BARBOSA, A. S. **Estrutura da vegetação e distribuição espacial de *Cactaceae* em áreas de caatinga do semiárido paraibano** 2011. 166f. (Dissertação de Mestrado) – Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal da Paraíba, Areia, PB, 2011.
- BARBOSA, A. S.; WOODROW, I. E.; GOODGER, J. Q. D.; ANDRADE, A. P.; BRUNO, R. L. A. Modeling extraction and storage of betalains from *Pilosocereus pachycladus* F. Ritter. (Cactaceae) using central composite design and polynomial regression model. In: 65<sup>th</sup> Latin Botanical Congress. Salvador, BA – Brazil. 2014.
- BARI, M.N.; ZUBAIR, M.; RIZWAN, K.; RASOOL, N.; BUKHARI, I.H.; AKRAM, S.; BOKHARI, T.H.; SHAHID, M.; HAMEED, M. AHMAD, V.U. Biological Activities of *Opuntia Monacantha* Cladodes. **Journal of the Chemical Society of Pakistan**, n.4, v.34, p.990-995 ,2012.
- BRAS, A.A.Q. **Caracterização do extrato de *Opuntia ficus indica* (L.) Mill e avaliação de sua atividade fotoprotetora**. 2011. 21p. Monografia – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.

CACACE, J. E.; MAZZA, G. Optimization of extraction of anthocyanins from blackcurrants with aqueous ethanol. **Journal of Food Science**. 68, 240–248. 2003.

CAI, Y.; SUN, M.; CORKE, H. HPLC Characterization of Betalains from Plants in the Amaranthaceae. **Journal of Chromatographic Science**, Vol. 43, October 2005.

CASTELLANOS-SANTIAGO, E.; YAHIA, E.M. Identification and quantification of betalains from the fruits of 10 Mexican prickly pear cultivars by high-performance liquid chromatography and electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 56, 5758–5764. 2008.

CASTELLAR, R.; OBÓN, J. M.; ALACID, M.; FERNANDEZ, J. A. Color properties and stability of betacyanins from Opuntia fruits. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2003, 51, 2772–2776.

CHAUHAN, S. P.; SHETH, N. R.; RATHOD, I. S.; SUHAGIA, B. N.; MARADIA, R. B. Analysis of betalains from fruits of Opuntia species. **Phytoem. Rev.** 12:35-45. 2013.

CHITARRA, M. I. F.; CHITARRA, A. B. **Pós-colheita de frutos e hortaliças: fisiologia e manuseio**. 2. ed. Lavras: UFLA, 2005. 785 p.

COMIN, F. H. Olhares **Cruzados: Conhecimento e conservação ambiental na Bacia Hidrográfica do Rio Passa-Cinco, SP**. 2007. 91 P. Dissertação de Mestrado (Ecologia Aplicada). Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" - Universidade de São Paulo. 2007.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Arara, estado da Paraíba**. João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 20 p., 2005a.



CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Areial, estado da Paraíba.** João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 19 p., 2005b.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. **Diagnóstico do município de Boa Vista, estado da Paraíba.** João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda (Orgs.) Recife: CPRM/PRODEEM, 11 p., 2005c.

DELGADO-VARGAS, F., JIMENEZ, A.R., PAREDES-LOPEZ, O. Natural pigments: carotenoids, anthocyanins, and betalains characteristics, biosynthesis, processing, and stability. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, 40, 173–289. 2000.

DESOTI, V.C.; MALDANER, C.L.; CARLETTO, M.S.; HEINZ, A.A.; COELHO, M.S.; PIATI, D. TIUMAN, T.S. Triagem fitoquímica e avaliação das atividades antimicrobiana e citotóxica de plantas medicinais nativas da região oeste do estado do Paraná. **Arquivos de Ciência da Saúde da UNIPAR**, v.15, n.1, p.3-13, 2011.

FERNÁNDEZ-LÓPEZ, J. A.; ALMELAB, L. Application of high-performance liquid chromatography to the characterization of the betalain pigments in prickly pear fruits **Journal of Chromatography A**, 913 (2001) 415–420.

GARCÍA-HERRERO, F.; GARCÍA-CARMONA, F. Biosynthesis of betalains: yellow and violet plant pigments. **Trends in Plant Science**, v. 18, n. 6. 2013.

GUEVARA-FIGUEROA, T.; JIMÉNEZ-ISLAS, H.; REYES-ESCOGIDO, M.; MORTENSEN, A.G.; LAURSEN, B.B.; LIN, L-W.; LEÓN-RODRÍGUEZ, A. de.; FOMSGAARD, I.S.; ROSA, A.P.B. de L. Proximate composition, phenolic acids, and flavonoids characterization of commercial and wild nopal (*Opuntia* spp.). **Journal of Food Composition and Analysis**, v.23, p.525-532, 2010.

GULCIN, I.; SAT, I.G.; BEYDEMIR, S.; ELMASTAS, M.E.; KUFREVIOGLU, O.I. Comparison of antioxidant activity of clove (*Eugenia caryophyllata* Thunb) buds and lavender (*Lavandula stoechas* L.). **Food Chemistry**, v.87, p.393-400, 2004.

HERBACH, K. M., STINTZING, F. C., & CARLE, R. Impact of thermal treatment on color and pigment pattern of red beet (*Beta vulgaris* L.) preparations. **Journal of Food Science**, 69, C491–C498. 2004.

HERSHKOVITZ, M. A., AND E. A. ZIMMER. On the evolutionary origins of the cacti. **Taxon**, v.46, p.217-232, 1997.

IBAMA. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. <<http://www.ibama.gov.br/>>. Acessado em: 14 de setembro de 2014.

JERZ, G.; SKOTZKI, T.; FIEGE, K.; WINTERHALTER, P., WYBRANIEC, S. Separation of betalains from berries of *Phytolacca americana* by ion-pair high-speed counter-current chromatography. **Journal of Chromatography A**, 1190 (2008) 63–73.

KHAN, M. I.; HARSHA, P. S. C. S.; GIRIDHAR, P.; RAVISHANKAR, G. A. Pigment identification, nutritional composition, bioactivity, and *in vitro* cancer cell cytotoxicity of *Rivina humilis* L. berries, potential source of betalains. **LWT - Food Science and Technology**, Volume 47, Issue 2, July 2012, Pages 315–323.

KOBAYASHI, N.; SCHMIDT, J.; NIMTZ, M.; WRAY, V.; SCHLIEMANN, W. Betalains from Christmas cactus. **Phytochemistry** 54, 419–426. 2000.

LEMOS, A.R. **Caracterização físico-química, bioquímica e avaliação da atividade antioxidante em genótipos de Urucueiros (*Bixa orellana* L.)**. 2008. 65p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos), Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia, Itapetinga.

MAKRIS, D. P.; BOSKOU, G.; ANDRIKOPOULOS, N.K. Recovery of antioxidant phenolics from white vinification solid by-products employing water/ethanol mixtures. **Bioresource Technology**, 98, 2963–2967. 2007.

MARAN, P.; MANIKANDAN, S.; MEKALAC, V. Modeling and optimization of betalain extraction from *Opuntia ficus-indica* using Box–Behnken design with desirability Function. **Journal of Industrial Crops and Products**, 49 (2013) 304– 311.

MATOS, F. J. A. **Introdução à fitoquímica experimental**. 2. ed. Fortaleza: UFC, 1997. 141p.

MENDEZ, M.; RODRÍGUEZ, R.; RUIZ, J.; MORALES-ADAME, D.; CASTILLO, F.; HERNÁNDEZ-CASTILLO, F.D.; AGUILAR, C.N. Antibacterial activity of plant extracts obtained with alternative organic solvents against food-borne pathogen bacteria. **Industrial Crops and Products**, v.37, p.445-450, 2012.

MINALE, L.; PIATTELLI, S.; DE STEFANO, S.; NICOLAUS, R.A. Pigments of Centrospermae —VI. Acylated betacyanins. **Phytochemistry**, 5, 1037-1052. 1966.

PARK, E .H.; KAHNG, J. H.; PAEK, E. A. Studies on the pharmacological action of *Cac-tus*: identification of its anti-inflammatory effect. **Archives of Pharmacal Research**, 21, 30–34. 1998.

PEREIRA, A.V.; ALMEIDA, T.C. de.; BELTRAME, F.L.; COSTA, M.E.; GARRIDO, L.H. Determinação de compostos fenólicos em amostras comerciais de chás verde e preto - *Camellia sinensis* (L.) Kuntze, Theaceae. **Acta Scientiarum. Health Sciences**, v.31, n.2, p.119-124, 2009.

PEREIRA, J. L. **Estrutura demográfica e fenologia reprodutiva de *Cereus hildmannianus* K. Schum. (Cactaceae), em uma restinga arbustiva do município de Jaguaruna, Santa Catarina**. 61 F. 2009. Programa de Pós-Graduação em Biologia Vegetal (Dissertação de Mestrado), Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 2009.

PINELO, M.; RUBILAR, M.; SINEIRO, J.; NUNEZ, M. J. Effect of solvent, temperature, and solvent-to-solid ratio on the total phenolic content and antiradical activity of extracts of extracts

from different components from grape pomace. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 53,2111–2117. 2005.

POMPEU, D. R.; SILVA, E.M.; ROGÉZ, H. Optimization of the solvent extraction of phenolic antioxidants from fruits of *Euterpe oleracea* using response surface methodology. **Bioresource Technology**, 100, 6076–6608. 2009.

RAI, C.; MAJUMDAR, G. C.; DE, S., Optimization of process parameters for water extraction of stevioside using response surface methodology. **Separation Science and Technology**, 47, 1014–1022. 2012.

SANCHEZ-GONZALEZ, N.; JAIME-FONSECA, M. R.; MARTIN-MARTINEZ, E. S.; ZEPED, G. Extraction, Stability, and Separation of Betalains from *Opuntia joconostle* cv. Using Response Surface Methodology. **Journal of Agricultura and Food Chemistry**. 2013, 61, 11995–12004.

SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E.; MORENO, D.A.; FERRENES, F.; RUBIO-WILHELM, M. del. M.; RUIZ, J.M. Differential responses of five cherry tomato varieties to water stress: Changes on phenolic metabolites and related enzymes. **Phytochemistry**, v.72, p.723-729, 2011.

SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ, E.; RUIZ, J.M.; FERRENES, F.; MORENO, D.A. Phenolic profiles of cherry tomatoes as influenced by hydric stress and rootstock technique. **Food Chemistry**, v.134, p.775-782, 2012.

SANTOS-ZEA, L.; GUTIÉRREZ-URIBE, J.A.; SERNA-SALDIVAR, S.O. Comparative Analyses of Total Phenols, Antioxidant Activity, and Flavonol Glycoside Profile of Cladode Flours from Different Varieties of *Opuntia* spp. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v.59, p.7054-7061, 2011.

SAS Institute INC.SAS/STAT™ **SAS user's guide for windows environment**. Cary : SAS Institute, 2012.

SCOLFORO, J. R. S.; PULZ, F. A. E MELLO, J. M. **Modelagem da produção, idade das florestas nativas, distribuição espacial das espécies e a análise estrutural**. In: Scolforo, J. R. S (Org.). Manejo Florestal. UFLA/ FAEPE, Lavras, Brasil, p.189-245.

SILVA, F. de. A.S.; AZEVEDO, C.A.V. de. **Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance**. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

SILVA, L. R.; ALVES, R. E. Caracterização físico-química de frutos de mandacaru. **Revista Acadêmica: Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 7, n. 2, p. 199-205, abr./jun. 2009.

SILVAA, E.M., ROGEZB, H., LARONDELLEA, Y. Optimization of extraction of phenolics from *Inga edulis* leaves using response surface methodology. **Separation and Purification Technology**. 55, 381–387. 2007.

SINHAA, K., CHOWDHURYA, S., SAHAA, P.D., DATTA, S., 2012. Modeling of microwave-assisted extraction of natural dye from seeds of *Bixa orellana* (Annatto) using response surface methodology (RSM) and artificial neural network (ANN). **Industrial Crops and Products**, 41, 165–171.

SOARES, B. S. A. **Obtenção e caracterização do extrato nebulizador da *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill e avaliação da sua atividade antimicrobiana e fotoprotetora**. 2012. 23p. Monografia – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande.

SOUZA, V. C.; LORENZI, H. **Botânica sistemática: guia ilustrado para identificação das famílias de Angiospermas da flora brasileira**. Nova Odessa, SP.: Instituto Plantarum, 2005. 639 p.

STINTIZING, F. C.; HERBACH, K. M.; MOSSHAMMER, M. R.; CARLE, R. YI, W.; SELLAPPAN, S.; AKOH, C. C.; BUNCH, R.; FELKER, P. Color, betalain pattern, and antioxidant properties of cactus pear (*Opuntia* spp.) clones. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. n. 53, 442–451. 2005.

STINTIZING, F.C.; SCHIEBER, A.; CARLE, R. Identification of betalains from yellow beet (*Beta vulgaris* L.) and cactus pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 50, 2302–2307. 2002.

STRACK, D.; VOGT, T.; SCHLIEMANN, W. Recent advances in betalain research. **Phytochemistry**, v. 62, 247–269. 2003.

STROHECKER, R. L.; HENNING, H.M. **Análisis de vitaminas: método comprobados**. Madrid: Paz Montalvo, 1967. 428p.

TROPICOS<sup>®</sup>. Missouri Botanical Garden (Disponível em: <<http://www.tropicos.org/>>) Saint Louis - Missouri, EUA. Acessado em 20 de outubro de 2014.

VOGT, T.; IBDAH, M.; SCHMIDT, J.; WRAY, V.; NIMTZ, M.; STRACK, D. Light-induced betacyanin and flavonol accumulation in bladder cells of *Mesembryanthemum crystallinum*. **Phytochemistry** 52, 583–592. 1999.

VON ELBE, J. H.; SCHWARTZ, S. J.; HILDEBRAND, B. E. Loss and regeneration of betacyanin pigments during processing of red beets. **Journal of Food Science**. 46, 1713–1715. 1981.

WANG, H.; PAN, Y.; TANG, X.; HUANG, Z. Isolation and characterization of melanin from *Osmanthus fragrans* seeds. **LWT-Food Science and Technology**. 39, 496–502. 2006.

WYBRANIEC, S., PLATZNER, I., GERESH, S., GOTTLIEB, H.E., HAIMBERG, M. MOGILNITZKI, M., MIZRAHI, Y. Betacyanins from vine cactus *Hylocereus polyrhizus*. **Phytochemistry** v. 58, 1209–1212. 2001.

WYBRANIEC, S.; NOWAK-WYDRA, B. Mammillarinin: A New Malonylated Betacyanin from Fruits of *Mammillaria*. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. 2007, 55, 8138–8143.

WYBRANIEC, S.; STALIC, P.; JERZ, G.; KLOSE, B.; GEBERS, N.; WINTERHALTER, P.; SPÓRNA, A.; SZALENIEC, M.; MIZRAHI, Y. Separation of polar betalain pigments from cacti fruits of *Hylocereus polyrhizus* by ion-pair high-speed countercurrent chromatography. **Journal of Chromatography A**, 1216 (2009) 6890–6899. 2009.

YAHIA, E.M.; MONDRAGON-JACOBO, C. Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). **Food Research International**, v.44, p.2311-2318, 2011.

ZAPPI, D.; TAYLOR, N. Diversidade e endemismo das cactaceae na cadeia do Espinhaço. **Revista Megadiversidade**, v. 4 n°1-2, 2008.

# APÊNDICE



**APÊNDICE:** Roterio de entrevista (questionário socioeconômico, cultural e ambiental) aplicado aos atores sociais residentes próximos das áreas de caatinga estudadas, para verificar a representação "ecológica" do seu olhar sobre o ambiente e da utilização de *Pilosocereus* spp.

DATA: ____/____/____ ENTREVISTA N° ____ INÍCIO: ____ h TÉRMINO: ____ h
COORDENADAS: _____
LOCAL: (    ) FAZ. (    )
SÍTIO: _____
TAMANHO: _____ LOCALIDADE: (    ) ARARA (    ) AREIAL (    ) BOA VISTA
NOME: _____
PROFISSÃO/OCUPAÇÃO: _____

1 Reside na propriedade:

(    ) Sim (    ) Não (    ) Já morou? Quanto tempo: \_\_\_\_\_

2 Habitação:

Número de famílias na propriedade: \_\_\_\_\_ Quantas pessoas? \_\_\_\_\_

Número de crianças na propriedade: \_\_\_\_\_

Frequentam a Escola? \_\_\_\_\_ Onde? \_\_\_\_\_

3 Existem Rios ou córregos: (    ) Sim (    ) Não Cachoeiras: (    ) Sim (    ) Não  
Nascentes: (    ) Sim (    ) Não

4 Os locais com água são protegidos por mata ciliar? (    ) Sim (    ) Não (    ) Em parte

5 Como é feito o abastecimento de água aqui?

\_\_\_\_\_

6 O Senhor ou alguém da família usa a mata? (    ) Sim (    ) Não

Onde? \_\_\_\_\_ Quais as espécies que tira? \_\_\_\_\_

Qual o uso? \_\_\_\_\_

7 Há quanto existe essas matas? Houve alteração nos últimos anos?

\_\_\_\_\_

8 Qual a sua escolaridade? Até quando o Senhor estudou?

(    ) Não foi a escola - Analfabeto

(    ) Fundamental incompleto (    ) Fundamental completo (    ) Médio incompleto (    ) Médio completo

(    ) Superior incompleto (    ) Superior completo

9 Há quanto tempo a propriedade pertence a família ou o Sr. vive aqui?

(    ) -10 anos (    ) +10 anos e -30 anos (    ) +30 anos

10 Quais os tipos de solo da propriedade?

\_\_\_\_ha/pasto \_\_\_\_ha/benfeitorias \_\_\_\_ha/floresta \_\_\_\_ha/cerrado \_\_\_\_ha/plantação-roça(anuais) \_\_\_\_ha/culturas perenes

11 Há quanto tempo faz esse manejo? (    ) -10 anos (    ) +10 anos e -30 anos (    ) +30 anos

12 Tem conhecimentos de práticas de conservação do solo? ( ) Sim ( ) Não

13 As atividades desenvolvidas na propriedade representam quanto da renda familiar?  
\_\_\_\_\_%horta \_\_\_\_%granja \_\_\_\_%caprinos/ovinos \_\_\_\_%culturas\_\_\_\_%gado  
corte/leite \_\_\_\_%geleias/doces \_\_\_\_%artesanato \_\_\_\_%comércio em geral

14 Para o senhor a existência dos fragmentos de mata tem alguma importância?

( ) Sim ( ) Não ( ) Não sabe Por quê?

15 Para quais motivos a área de mata ainda existem na propriedade?

( ) a área não serve para outro uso

( ) proteção do solo e água

( ) apreciação da beleza e lazer

( ) cumprimento da lei

( ) não possui licença para utilizar

( ) serve para bichos e pássaros

16 Se a lei permitisse o senhor gostaria de substituir a mata por outro tipo de ocupação de solo?

( ) Sim ( ) Não

Quais?\_\_\_\_\_

17 O Senhor conhece a lei de proteção ambiental (lei de florestas)?

( ) Sim quais?\_\_\_\_\_ ( ) Não

18- O senhor possui reserva legal averbada?

( ) Sim ( ) Não ( ) Em processo de averbação

19 Quais os animais que existem na mata?

1.	2.	3.
4.	5.	6.
7.	8.	9.
10.	11.	12.
13.	14.	15.

20 Quais os animais que existiam e hoje não são mais vistos?

1.	2.	3.
4.	5.	6.
7.	8.	9.
10.	11.	12.
13.	14.	15.
16.	17.	18.

21 Quais as plantas que existem na mata?

1.	2.	3.
4.	5.	6.
7.	8.	9.
10.	11.	12.
13.	14.	15.

22 Quais as plantas que existiam e hoje não são mais vistos?

1.	2.	3.
4.	5.	6.
7.	8.	9.
10.	11.	12.
13.	14.	15.

23 Há quanto tempo começou a desaparecer as plantas?

(    ) mais de 10 anos (    ) a mais de 20 anos (    ) há mais de 30 anos

24 Na sua opinião quais os motivos que fizeram as plantas e os bichos desaparecerem?

(        ) retirada da vegetação para pastagem

(        ) caça

(        ) falta de alimentação

(        ) extinção

(        ) queimadas

(        ) moradores da região

(        ) outros? quais? \_\_\_\_\_

25 O senhor conhece o facheiro?

(        ) Sim (        ) Não

26 O facheiro apresenta alguma importância na sua opinião? Como utiliza o facheiro? Cite?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

27 Ao longo dos anos houve alteração na quantidade de facheiro? (    ) Sim (    ) Não O que aconteceu?

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

28 Nos últimos anos houve alguma melhoria ou piora da qualidade de vida dos moradores aqui da região? Cite?


\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

# ANEXO

**ANEXO:** Autorização de acesso e de remessa de amostra de componente do patrimônio genético

8201



**SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL**  
**MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE**  
**INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS**

**AUTORIZAÇÃO DE ACESSO E DE REMESSA DE AMOSTRA DE COMPONENTE DO PATRIMÔNIO GENÉTICO**  
**Nº 09/2013**

O INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, credenciado pelo Conselho de Gestão do Patrimônio Genético (CGEN/MMA), por meio da Deliberação CGEN n.º 40, de 24 de setembro de 2003, para autorizar instituições nacionais, públicas ou privadas, que exerçam atividades de pesquisa e desenvolvimento nas áreas biológicas e afins, a acessar e remeter amostras de componente do patrimônio genético para fins de pesquisa científica sem potencial de uso econômico, autoriza:

A **Universidade Federal da Paraíba - UFPB**, CNPJ n.º 24.098.477/0001-10, representada pela Reitora Margareth de Fátima Formiga Melo Diniz, RG n.º 394.12.2-SSP/PB, CPF n.º 323.157.164-20, a acessar e remeter amostras de componente do patrimônio genético no âmbito do projeto de pesquisa **"Ecologia de populações e perfil metabólitos secundários de *Pilosocereus pachycladus* Ritter. (Cactaceae) em áreas da Caatinga Paraibana, Brasil"**, coordenado pelo pesquisador Dr. Alex da Silva Barbosa.

**Descrição da(s) amostra(s)**  
**Espécie(s):** *Pilosocereus pachycladus* Ritter. (Cactaceae).

**Tipo(s) de material (is):** Caule, rafs e fruto.

**Uso pretendido:** Caracterizar a estrutura, padrões de dispersão e o perfil de metabólitos secundários em relação às características ambientais e genéticas de *Pilosocereus pachycladus* Ritter. (Cactaceae) da Caatinga Paraibana.

**Local de depósito de sub-amostra:** Herbário Jaime Coelho de Moraes – EAN – Centro de Ciências Agrárias, UFBP.

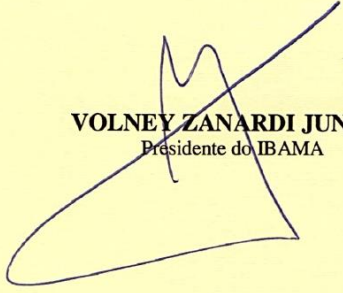
**Validade da Autorização:** outubro de 2013 a outubro de 2015. A Universidade Federal da Paraíba - UFPB deverá enviar ao Ibama relatório anual sobre o andamento do projeto de pesquisa, nos termos do Decreto n.º 4.946/2003.

Esta autorização está vinculada às informações e termos assinados pelo requerente, constantes do **Processo n.º 02016.001107/2013-54**. Atividades de acesso aos conhecimentos tradicionais associados, de acesso e de remessa de componente do patrimônio genético com finalidade comercial, aplicação industrial, bioprospecção ou desenvolvimento tecnológico **não** estão autorizadas.

Caso seja identificado uso econômico de produto ou processo, passível ou não de proteção intelectual, originado das amostras de componente do patrimônio genético acessado no âmbito desta autorização, a instituição beneficiada por esta licença se compromete a adotar as providências cabíveis, nos termos da legislação vigente, junto ao CGEN/MMA.

A remessa de amostra de componente do patrimônio genético deverá ser precedida da assinatura do Termo de Transferência de Material (TTM) ou do Termo de Responsabilidade para Transporte de Amostra de Componente do Patrimônio Genético (TRM). Para a remessa de componente do patrimônio genético para instituição sediada no exterior, deverá ser solicitada ao Ibama, por meio de formulário específico e mediante a apresentação de TTM ou TRM, licença de exportação complementar a autorização de remessa, mormente quando se tratar de remessa de espécies constantes nos Anexos da Convenção sobre o Comércio Internacional das Espécies da Flora e Fauna Selvagens em Perigo de Extinção (Cites).

Brasília, 30 de outubro de 2013.



**VOLNEY ZANARDI JUNIOR**  
Presidente do IBAMA